

**“UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA”**



**FACULTAD DE CIENCIAS**



**DEPARTAMENTO ACADEMICO DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TESIS**

**“ESTUDIO Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL AS-  
i PARA EL CONTROL DE NIVEL MEDIANTE UNA RED DE  
ESCLAVOS DISCRETOS ACTUADOR-SENSOR Y UN MASTER  
AS-i”**

**PRESENTADA POR:**

**RICHARD EDINSON GUERRERO ZAPATA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**Línea de Investigación: Informática, Electrónica y Telecomunicaciones**

**Sub Línea: Control e Instrumentación Industrial**

**Piura – Perú**

**Mayo del 2019**

Tesis presentada como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones de la Tesis denominada

“Estudio y aplicación del Protocolo Industrial AS-i para el Control de Nivel mediante una red de esclavos discretos Actuador-Sensor y un Master AS-i”

Línea de Investigación: Informática, Electrónica y Telecomunicaciones

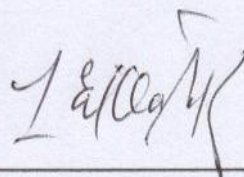
Sub Línea: Control e Instrumentación Industrial

Tesista:



Bach. Richard Edinson Guerrero Zapata

Asesor:



Ing. Eduardo Omar Avila Regalado



## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

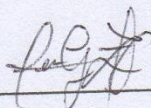
Yo: **Richard Edinson Guerrero Zapata** identificado con DNI N° 46657147, Bachiller de Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ciencias y domiciliado en la Av. E-13 Cercado Talara del Distrito Pariñas Provincia de Talara, Departamento de Piura, con Celular: 930177689, email: richard\_1440@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor. En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 24 de mayo del 2019.



Huella Dactilar



Bach. Richard Edinson Guerrero Zapata

DNI 46657147



**TESIS:**

“Estudio y aplicación del Protocolo Industrial AS-i para el Control de Nivel mediante una red de esclavos discretos Actuador-Sensor y un Master AS-i”

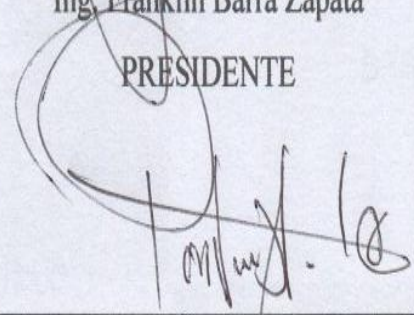
**JURADO EVALUADOR:**



---

Ing. Franklin Barra Zapata

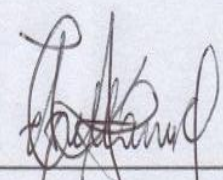
PRESIDENTE



---

Ing. Miguel Ángel Panduro Alvarado

SECRETARIO



---

Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez

VOCAL



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE CIENCIAS



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

## ACTA DE SUSTENTACIÓN 029-2019-UI-FC-UNP

### FACULTAD DE CIENCIAS

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada **"ESTUDIO Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL AS - i PARA EL CONTROL DE NIVEL MEDIANTE UNA RED DE ESCLAVOS DISCRETOS ACTUADOR - SENSOR Y UNA MASTER AS - i "**, presentado por el Señor Bachiller **GUERRERO ZAPATA RICHARD EDINSON**, con el asesoramiento del **Ing. Eduardo Omar Ávila Regalado**; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

APROBADO (X)

DESAPROBADO ( )

Con la mención de:

*Muy Bueno*

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**.

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 24 de mayo del 2019.

  
Ing. FRANKLIN BARRA ZAPATA, MSc.  
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

  
Ing. MIGUEL ÁNGEL PANDURO ALVARADO  
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS

  
Dr. CARLOS ENRIQUE ARELLANO RAMIREZ  
VOCAL DE JURADO DE TESIS



Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla  
PIURA - PERU



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	5
1.1 REALIDAD PROBLEMATICAN.....	5
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2.1 Pregunta General .....	6
1.2.2 Preguntas Específicas.....	6
1.3 JUSTIFICACION , IMPORTANCIA Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACION .....	7
1.3.1 JUSTIFICACIÓN .....	7
1.3.2 IMPORTANCIA.....	7
1.3.3 BENEFICIARIOS.....	7
1.4 OBJETIVOS.....	8
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	9
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	9
2.2 Comunicaciones Industriales.....	9
2.3 Sistemas de Transporte de Señal.....	10
2.4 Sistemas de Transmisión de Señal .....	10
2.5 Conceptos Básicos de Redes Industriales.....	11
2.5.1 Modo de Transmisión de Datos.....	11
2.5.2 Codificación de señales.....	12
2.5.3 Protocolos de Comunicación .....	12
2.6 Bus AS-i.....	12
2.6.1 Características Generales .....	13
2.6.1.1 El Medio Físico .....	13
2.6.1.2 El Maestro AS-i .....	14
2.6.1.3 Esclavos AS-i .....	15
2.6.1.4 Suministro de energía .....	15
2.6.1.5 Topología.....	16
2.7 PIRAMIDE CIM (Computer Integrated Manufacturing) .....	16
2.8 Sensores Capacitivos Discretos .....	16
2.8.1 Sensor de Proximidad Capacitivo CR30-15DP .....	18
CAPITULO II: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	20
2.9 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21

2.9.1	Pregunta General .....	21
2.9.2	Preguntas Específicas.....	21
2.10	JUSTIFICACION , IMPORTANCIA Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACION .....	22
2.10.1	JUSTIFICACIÓN .....	22
2.10.2	IMPORTANCIA.....	22
2.10.3	BENEFICIARIOS .....	22
2.11	OBJETIVOS. ....	23
2.11.1	OBJETIVO GENERAL. ....	23
2.11.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
CAPITULO III: INGENIERIA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL .....		24
3.1	DISEÑO DE LA PLANTA.....	24
3.1.1	Diseño del Módulo de la Planta .....	24
3.1.2	Diseño de la Etapa de Captación .....	26
3.1.3	Diseño de la Etapa de Actuación .....	27
3.1.4	Dimensionamiento de los sensores y actuador .....	28
3.1.5	Diseño de la red de control .....	28
3.2	REQUERIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE CAMPO Y CONTROL.....	29
3.2.1	Controlador Principal .....	29
3.2.2	Controlador Maestro.....	30
3.2.3	Módulo Esclavo .....	31
3.2.4	Modulo esclavo AS-i 3RK2400-1DQ00-0AA3 .....	31
4.1	CABLE AS-i.....	32
4.1.1	Conexión de Módulos con cable AS-i.....	33
4.2	CONTROLADOR PRINCIPAL CPU 1212C .....	34
4.3	MASTER AS-i CM 1243-2.....	35
4.4	DESACOPLADOR AS-i DCM 1271 .....	35
4.5	MODULO ESCLAVO AS-i .....	35
4.6	ACOPLAMIENTO DEL MASTER AS-i .....	36
4.7	DESACOPLADOR DCM 1271 A LA RED AS-i.....	37
4.8	CONFIGURACION DEL MASTER AS-i CM 1243-2 .....	38
4.8.1	Control del Acceso al Medio – Red AS-i .....	38
4.8.2	Control Lógico.....	39
4.8.3	Identificación funcional de los subordinados .....	39
4.8.4	Identificación de dirección de Subordinados.....	40
4.8.5	Formato y Tiempo de Mensajes AS-i.....	40
4.9	CONFIGURACION Y CONECTIVIDAD DE LA RED DE CAMPO .....	42
4.9.1	HERRAMIENTA DE CONFIGURACIÓN.....	42
4.9.2	Configuración de la Red AS-i .....	43
4.9.3	Configuración de la Interfaz AS-i.....	46

4.9.4	Dispositivos Esclavos AS-i .....	47
4.9.5	Configuración del Esclavo AS-i.....	48
4.10	CONECTIVIDAD DE DISPOSITIVOS DE CAMPO.....	49
4.11	FILOSOFIA DE CONTROL .....	50
4.11.1	Proceso de captación .....	51
4.11.2	Etapas de actuación.....	53
4.12	PROGRAMA DEL CONTROL EN AS-i .....	56
CONCLUSIONES .....		58
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA. ....		59
ANEXOS.....		60
Anexo 1 Datasheet Sensor Capacitivo CR30-15DP.....		61
Anexo 2: Manual CM 1243 DCM 1271 .....		62
Anexo 3: Manual Controlador SIMATIC S7- 1200 .....		63



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sensor Capacitivo .....	17
Figura 2.2 Comportamiento del sensor capacitivo .....	17
Figura 2.3 Tipos de sensores capacitivos .....	18
Figura 2.4 Sensor Capacitivo CR30-15DP .....	19
Figura 2.5 Dimensiones del Sensor Capacitivo CR30-15DP .....	19
Figura 3. 1 Esquema del Módulo de la Planta .....	24
Figura 3.2 Esquema de los sensores discretos de nivel .....	26
Figura 3.3 Esquema de la válvula de control de nivel LCV .....	27
Figura 3.4 Esquema de la Red de Control .....	28
Figura 3.5 PLC S7 – 1200 CPU 1212C AC/DC/RLY .....	30
Figura 3.6 Módulo Esclavo AS-i 3RK1901-0CA00 .....	31
Figura 4.1 Cable de Conexión AS-i .....	32
Figura 4.2 Cable AS-i Siemens 3rx90-10 .....	33
Figura 4.3 Conexión de módulos con cable AS-i .....	34
Figura 4.4 Acoplamiento de Módulos E/S y Comunicaciones de S7-1200 .....	36
Figura 4.5 Módulo Master AS-i y Desacoplador DCM 1271 .....	37
Figura 4.6 Conectividad S7-1200 con módulos Master AS-i y Desacoplador DCM 1271 .....	37
Figura 4.7 Esquema de Red de Campo AS-i Maestro – Esclavo .....	38
Figura 4.8 Estructura General de un intercambio de intercambio en AS-i .....	39
Figura 4.9 Códigos de E/S AS-i .....	40
Figura 4.10 Software de configuración TIA PORTAL V13 .....	43
Figura 4.11 Iniciar un Proyecto en TIA PORTAL .....	44
Figura 4.12 Elección del Controlador Principal CPU 1211C .....	44
Figura 4.13 Elección del Módulo AS-i CM 1243-2 a la red de control .....	45
Figura 4.14 Conectividad S7-1200 y Master AS-i CM 1243-2 .....	46
Figura 4.15 Configuración de la Interfaz de Comunicación AS-i_1 .....	47
Figura 4.16 Red AS-i_1 .....	47
Figura 4.17 Conexión y configuración de esclavo AS-i a la red AS-i_1 .....	48
Figura 4.18 Descripción del Módulo Esclavo AS-i .....	48
Figura 4.19 Asignación de direcciones de E/S al módulo esclavo AS-i .....	49
Figura 4.20 Asignación de direcciones a los conectores del módulo Esclavo AS-i .....	49
Figura 4.21 Diagrama de Conectividad AS-i .....	52

## **RESUMEN**

La Tesis desarrollada planteó el estudio y aplicación del Protocolo AS-i como un bus de campo de sensores y actuadores discretos para gobernar el control de nivel de tanques donde la captación de información y la señal de actuación, todas ellas de tipo discretas; están enlazadas a una red industrial Sensor – Actuador con un controlador de comunicación Master AS-i y este a su vez a un controlador S7-1200 para la transferencia de información entre el proceso y el sistema de monitoreo y supervisión mediante una red industrial Ethernet.

Se detalla el desarrollo de la ingeniería del sistema de control, donde se plantea la planta y los dispositivos necesarios para realizar el control discreto AS-i; y el requerimiento de los dispositivos AS-i y sus elementos de conectividad para el montaje de la red de control; también la filosofía de control y el programa de control realizado en software escalera.

**Palabras Clave: Protocolo Industrial AS-i, PLC Siemens, Maestro-Eslavo**

## **ABSTRACT**

The developed thesis raised the study and application of the AS-i Protocol as a field bus of discrete sensors and actuators to govern the level control of tanks where the capture of information and the actuation signal, all of them discrete type; they are linked to an industrial network Sensor - Actuator with a Master AS-i communication controller and this in turn to an S7-1200 controller for the transfer of information between the process and the monitoring and supervision system through an industrial Ethernet network.

The development of the control system engineering is detailed, where the plant and the necessary devices for the discrete AS-i control are proposed; and the requirement of the AS-i devices and their connectivity elements for the assembly of the control network; also the control philosophy and the control program made in ladder software.

**Key Words: Industrial Protocol, PLC Siemens, Master-Slave.**



## INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales involucran la medición, transmisión, control y monitoreo de muchas variables (nivel, presión, temperatura, caudal entre otras) las cuales pueden leerse o manipuladas de forma analógica y/o discreta. En la actualidad existen controladores de gran velocidad que realizan la lectura y control de variables en base a sus tarjetas de E/S pero con la tendencia a tener esas E/S en forma distribuida de acuerdo a los lazos de control con los que se cuente en un determinado proceso. La arquitectura distribuida es debido al desarrollo de la tecnología en comunicaciones industriales que permitió el desarrollo de protocolos industriales, la que establece estándares para equipos de control industrial, y aunque es más complejo que la arquitectura centralizada, permite un ordenamiento con la finalidad de adquirir datos del comportamiento de las variables los cuales son identificados mediante etiquetas o tags y enviados a una gran base de datos para su análisis, mejoramiento de los algoritmos de control, presentación y supervisión para la toma de decisiones.

El protocolo industrial AS-i conocido como interface actuador sensor, es un estándar internacional y está regulado según la norma ISO, la IEC 62026/2 e IEC 947 y desarrollado en base al concepto de sistemas de transmisión de señales con modo de diálogo Half Dúplex y cuyo transporte de señal lo realiza mediante cableado de datos y/o potencia. AS-i es un protocolo de comunicación cíclico para realizar control discreto y se implementa mediante la topología tipo árbol y su organización de nodos es Master – Slave. La finalidad del protocolo AS-i es uniformizar el nivel de campo de control y monitorización de señales individuales.

La Tesis desarrollada planteó el estudio y aplicación del Protocolo AS-i como un bus de campo de sensores y actuadores discretos para gobernar el control de nivel de tanques donde la captación de información y la señal de actuación, todas ellas de tipo discretas; están enlazadas a una red industrial Sensor – Actuador con un controlador de comunicación Master AS-i y este a su vez a un controlador S7-1200 para la transferencia de información entre el proceso y el sistema de monitoreo y supervisión mediante una red industrial Ethernet.

La Tesis se divide en los siguientes capítulos:

El Capítulo I abarca los antecedentes de la investigación y la base teórica respecto al protocolo industrial en estudio.

En el Capítulo II se plantea la pregunta de investigación, así también los objetivos que formaron parte de la investigación como guía en la búsqueda de todos los elementos llámese tecnológicos y técnicos para el encaminamiento de esta Tesis.

El Capítulo III está basado en el desarrollo de la ingeniería del sistema de control, donde se plantea la planta y los dispositivos necesarios para realizar el control discreto AS-i.

El Capítulo IV plantea el requerimiento de los dispositivos AS-i y sus elementos de conectividad para el montaje de la red de control; también la filosofía de control y el programa de control realizado en software escalera.

Finalmente en la última parte encontramos las conclusiones a las que se llegó una vez concluida la Tesis.

## **CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.**

Los términos comunicaciones o redes industriales y protocolos de comunicación industrial son desarrollados en muchos documentos como si fuesen sinónimos, lo que causa un poco de confusión a quienes deseen involucrarse en este nuevo concepto adscrito a la automatización industrial. Podríamos definir cada uno de estos términos haciendo analogía a las redes informáticas en cuanto a su topología, su medio de comunicación y el protocolo de red con el cual se comunican entre ellas. El Protocolo Industrial AS-i se aplica a una red de dispositivos conectados mediante una topología bus cuyos nodos están organizados mediante dos tipos de elementos: como Master, el controlador que gobierna la transferencia de información en el bus y como Esclavos los sensores y actuadores que envían información y reciben señales de control respectivamente del controlador de la red. La comunicación entre los dispositivos es posible gracias a un sistema de transporte de señales mediante un cable de dos hilos por donde viajan señales de datos y la alimentación de los dispositivos.

El no tener los conceptos claros de estos términos descritos, no permite una comprensión rápida respecto a la comunicación de los dispositivos industriales para el control de procesos, considerando además del nivel donde se encuentra ubicado la aplicación del protocolo de red en la pirámide CIM. Conectividad de dispositivos, configuración y programación de estos, también es importante tener en consideración debido a que el hardware y el software son enlazados bajo el criterio de arquitectura distribuida en la cual la caída de la red de supervisión no afecta a la red de control, por lo que uno de los problemas radica en identificar las causas de una mala configuración de la red de control que afecte su operatividad y que provoque su caída.

La adaptación al nuevo enfoque de como los sistemas de control gobiernan los procesos industriales, basados en una arquitectura distribuida, es que causa un problema a quienes aún trabajan en base a arquitecturas centralizadas de control, debido al poco conocimiento de cómo estos están estructurados. A pesar que hay la bibliografía de conectividad y configuración de las distintas redes industriales basadas en protocolos propietarios, el tener que discernir entre los distintos comando de programación como



son comandos de configuración, comandos de parametrización y comandos de lectura/escritura de datos, es que ocasiona el poco acercamiento al uso de redes industriales.

La problemática en la aplicación de redes industriales y sus protocolos de comunicación que se mencionan, ocasiona que aun el diseño de los sistemas de control basados en PLC, se tenga aplicaciones donde las E/S se encuentren conectadas en módulos compactos en el mismo PLC, bajo un concepto de estructura centralizada y donde la supervisión de las variables quedan de lado debido a que el PLC no realiza esta tarea.

Por lo anteriormente expuesto, este proyecto de investigación como proyecto de Tesis para la obtención del Título Profesional; planteó el estudio y aplicación en el nivel de campo Sensor-Actuador de la pirámide CIM, el Protocolo Industrial AS-i con la finalidad de aplicar control discreto con el objetivo de dar un conocimiento más preciso de la configuración de los dispositivos de red industrial que forman parte de este protocolo.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Pregunta General**

¿Es posible mejorar el concepto de redes industriales en el control de procesos mediante la aplicación del Protocolo Industrial AS-i en el nivel de campo de la pirámide CIM utilizando dispositivos discretos?

### **1.2.2 Preguntas Específicas**

- ¿Qué criterios diferencian a las redes distribuidas de las redes centralizadas?
- ¿Cuál es la importancia de tener una correcta configuración de una red de campo respecto a la velocidad de transmisión y el número de nodos que éste controla?
- ¿Cuál es la posibilidad de conectar una red de campo directamente a una red de supervisión?

## **1.3 JUSTIFICACION , IMPORTANCIA Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACION**

### **1.3.1 JUSTIFICACIÓN**

Las empresas de producción tipo pymes vierten el concepto que para controlar sus procesos solo es necesario la adquisición de un PLC con E/S de tipos compactos o modulares, considerando que en ambos casos los módulos E/S se conectan directamente a la estructura del PLC, es decir aplicar una red de tipo centralizada basada en PLC la cual a menudo no cuenta con la ventaja de expansión de red de control. Esto es debido a que no solo es el costo del equipamiento, sino el desconocimiento de las ventajas de la aplicación de una red industrial con respecto a una red centralizada. Es por ello que este proyecto de tesis se abocó al conocimiento y la aplicación del Protocolo AS-i en el nivel de campo de una red de control con la finalidad de comprender y puntualizar en un documento los criterios que la diferencian de una red centralizada.

### **1.3.2 IMPORTANCIA**

La importancia de este estudio se centró en tener los conceptos precisos que diferencian a las redes de control centralizadas de las redes distribuidas, por lo que se investigó y aplicó conceptos de conectividad, configuración, parametrización y control a una red de campo, para este caso mediante la aplicación del Protocolo AS-i.

### **1.3.3 BENEFICIARIOS**

Por lo expuesto, la aplicación del presente trabajo de investigación se justifica, porque este estudio constituye en una herramienta necesaria que da a conocer conceptos de redes distribuidas mediante la aplicación de una red de campo industrial AS-i. La realización de este proyecto se planteó como base para servir de fuente confiable de información para posteriores trabajos de investigación que permita la aplicación de otros protocolos de control industrial.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Estudio y aplicación del Protocolo Industrial AS-i en el nivel de campo de la pirámide CIM utilizando dispositivos discretos para un proceso de control de nivel.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Estudio de los criterios que diferencian a las redes distribuidas de las redes centralizadas.
- Estudio, evaluación y aplicación de criterios de configuración de una red de campo considerando su velocidad de transmisión y el número de nodos que éste controla.
- Conectividad de la red de campo AS-i a la red de control y evaluar la posibilidad de conectarla directamente a una red de supervisión.



## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

### **2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.**

Orduz, Ortiz (2006) realizó la investigación “PROTOCOLO AS-INTERFACE, ANALIZADOR DE RED” para obtener el TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO teniendo como objetivo el diseño e implementación de un analizador de red en un dispositivo programable en sus respectiva HMI en el computador, basado en el protocolo de buses de campo AS-i. El aporte de esta investigación es en cuanto a su base teórica

### **2.2 Comunicaciones Industriales**

*“Hoy en día las comunicaciones industriales adquieren una gran importancia en nuestro sistema de automatización. Los equipos tienen la necesidad de comunicar entre sí de una manera segura y basándose en los últimos estándares de comunicación” (Automatización Industrial, 1996-2018).*

*Se pueden definir las Comunicaciones Industriales como: “Área de la tecnología que estudia la transmisión de información entre circuitos y sistemas electrónicos utilizados para llevar a cabo tareas de control y gestión del ciclo de vida de los productos industriales” [2]*

*“Lo que se busca en la comunicación industrial, es mayor información transmitida a mayor velocidad de transmisión. Por lo que la demanda de mejores características para los medios de transmisión es mayor. Esto es particularmente cierto para las redes industriales de comunicación, en donde las condiciones distan mucho de ser ideales debido a las posibles interferencias de máquinas eléctricas y otros. Por esta razón el mejor medio de transmisión depende mucho de la aplicación”. [3]*

## 2.3 Sistemas de Transporte de Señal

*“Los medios de transmisión son las vías por las cuales se comunican los datos. Dependiendo de la forma de conducir la señal a través del medio o soporte físico, se pueden clasificar en dos grandes grupos:*

- *medios de transmisión guiados o alámbricos.*
- *medios de transmisión no guiados o inalámbricos.*

*En ambos casos las tecnologías actuales de transmisión usan ondas electromagnéticas. En el caso de los medios guiados estas ondas se conducen a través de cables o “alambres”. En los medios inalámbricos, se utiliza el aire como medio de transmisión, a través de radiofrecuencias, microondas y luz (infrarrojos, láser); por ejemplo: puerto IrDA (Infrared Data Association), Bluetooth o Wi-Fi.*

*Según el sentido de la transmisión, existen tres tipos diferentes de medios de transmisión:*

- *símples.*
- *semi-dúplex (half-duplex).*
- *dúplex o dúplex completo (full-duplex)”. [4]*

## 2.4 Sistemas de Transmisión de Señal

*“En telecomunicaciones, un sistema de transmisión es un conjunto de elementos interconectados que se utiliza para transmitir una señal de un lugar a otro y en diferentes sentidos. La señal transmitida puede ser eléctrica, óptica o de radiofrecuencia.*

*Algunos sistemas de transmisión están dotados de repetidores que amplifican la señal antes de volver a retransmitirla. En el caso de señales digitales estos repetidores reciben el nombre de regeneradores ya que la señal, deformada y atenuada por su paso por el medio de transmisión, es reconstruida y conformada antes de la retransmisión.*

*Los elementos básicos de cualquier sistema de transmisión son la pareja multiplexor/demultiplexor (que pueden ser analógicos o digitales), los equipos terminales de línea y, en su caso, los repetidores o regeneradores.*

*Los multiplexores pueden ser de división de frecuencia o de división de tiempo. El equipo terminal de línea consta de los elementos necesarios para adaptar los multiplexores al medio de transmisión, sea este un conductor metálico, fibra óptica o el espacio radioeléctrico. En el equipo terminal se incluyen además los elementos de supervisión de repetidores o regeneradores así como, en caso de ser necesario, el equipo necesario para alimentar eléctricamente (telealimentar) a estos repetidores o regeneradores intermedios cuando ello se hace a través de los propios conductores metálicos de señal”.[5]*

## **2.5 Conceptos Básicos de Redes Industriales**

Los conceptos que se abordan para tener una idea clara del concepto de redes industriales son:

### **2.5.1 Modo de Transmisión de Datos**

Se consideran los modos de transmisión serie y paralelo. En el modo paralelo el envío de información es en alta velocidad, su inconveniente es que usa una línea de transmisión por cada bit de un registro a enviar así como que su distancia se ve limitada por esta situación. En el modo serie la transmisión es por niveles de tensión entre dos estados. El sistema receptor tiene la capacidad de identificar los cambios de estado e interpretarlos correctamente para poder traducirlos a bits. Para ello tanto transmisor como receptor deben estar sincronizados.



### 2.5.2 Codificación de señales

Después de definir el modo de transmisión de la información, se determina la forma de la misma de tal manera que se puedan transmitir a la mayor velocidad posible sobre la línea de transmisión elegida.

### 2.5.3 Protocolos de Comunicación

Definido el sistema de transporte de señal y el tipo de codificación así como la forma de realizar el intercambio de información, es necesario establecer las reglas y convenciones que deben seguir dos equipos DTE/DCE para poder intercambiar información como por ejemplo sincronización entre extremos de la línea, detección y corrección de errores, gestión de enlaces, etc.

El protocolo de comunicación engloba todas estas reglas y convenciones con el objetivo de conectar y mantener el diálogo entre dos equipos DTE. Algunos protocolos desarrollados son los siguientes:

- Hart          Control de procesos
- Profibus    Control discreto y control de procesos
- AS-i          Control discreto
- CAN          Control discreto

## 2.6 Bus AS-i

*AS-Interface o AS-i es un Bus de Sensores y Actuadores, estándar internacional IEC62026-2 y europeo EN 50295 para el nivel de campo más bajo desde 1999.*

*Fue diseñado en 1990 e introducido al mercado en 1994 como una alternativa económica al cableado tradicional. La idea original fue crear una red simple para sensores y actuadores binarios, capaz de transmitir datos y alimentación a través del mismo bus, manteniendo una gran variedad de topologías que faciliten la instalación de los sensores y actuadores en cualquier punto del proceso con el menor esfuerzo posible.*

*Las especificaciones de AS-i se encuentran actualmente en su versión 3.0. Estas son de carácter abierto, lo que significa que cualquier fabricante puede obtener una copia de las mismas para elaborar sus productos.[6]*

**AS-interface** es un estándar internacional que tiene por finalidad uniformizar el nivel de campo de control y monitorización de señales individuales. Este estándar es regulado por la EN50295, la IEC 62026/2 y la IEC 947. Este sistema fue diseñado para transmitir alimentación y datos por el mismo cable bifilar hasta una distancia máxima de 100m entre elementos discretos en el nivel de campo como finales de carrera, sensores, electroválvulas, etc.

AS-i es un bus de campo que está orientado al tráfico de señales básicas de control y monitorización. Las señales que transitan por el bus de campo AS-i son discretas (31 módulos) en su versión 1.1 y discretas (62 módulos) / analógicas (31 módulos) en su versión 2.1, su tiempo de implementación y puesta en marcha son reducidos y su programación básica es muy sencilla.

### **2.6.1 Características Generales**

Es necesario describir las características de este bus como son su medio físico, su alimentación, su modo de dialogo y topología que permita dar una idea más concisa de cómo utilizarlo.

#### **2.6.1.1 El Medio Físico**

El medio físico que se utiliza en el protocolo AS-i es un cable por donde las señales que transitan son tanto de datos como de alimentación de los módulos. Este medio es un cable de dos hilos por donde se transmite las señales desde/hacia los módulos de lectura y el controlador Maestro y también se utiliza para alimentar los módulos esclavos.

Son aspectos a tener en cuenta al momento de instalar los cables:

- La resistencia eléctrica para la distribución de corriente de los distintos componentes conectados. Hasta un máximo de 8A.

- Solo se puede tener un segmento hasta 100m de longitud o tres segmentos hasta 300m de longitud utilizando dos repetidores. El número de esclavos para todos los segmentos es de 31 o 62 según la versión que se utilice.

El bus AS-i cuenta con tres tipos de cable:

- El estándar es de color amarillo y es utilizado para transmitir señales de alimentación y flujo de datos entre los esclavos y el maestro.
- El cable negro se utiliza para alimentación extra de dispositivos que requieran mayor corriente DC (24VDC).
- El cable de color rojo se utiliza si la necesidad es manipular dispositivos actuadores con corriente alterna AC (230VAC).

#### **2.6.1.2 El Maestro AS-i**

Se ocupa de la transmisión con uno o más esclavos utilizando la técnica de muestreo polling y realiza las funciones de:

- Diagnóstico de esclavos
- Control e intercambio d datos con los esclavos
- Comunicación al autómatas asociado de los datos de la red

El Maestro AS-i se caracteriza por las siguientes prestaciones o perfil

- M0: Lectura y escritura de entradas – salidas
- M2: Perfil M0 y modificación de parámetros de Esclavos

- M1: Perfil M2 más diagnóstico de red y monitorización de configuración real

### **2.6.1.3 Esclavos AS-i**

El Protocolo AS-i cuenta con tres tipos de esclavo actuador/sensor

- Esclavo convencional: son sensores actuadores estándar por ejemplo: finales de carrera, electroválvulas, etc., por lo que es necesario un módulo de interface que le permita conectarse al bus AS-i. cada actuador/sensor es de tipo discreto por lo que utilizara un bit de cada dirección dl bus.
- Esclavo convencional comunicante: es necesario montar un chip AS-i en un esclavo normal para convertirlo en un esclavo AS-i.
- Esclavo AS-i.: la electrónica del esclavo ya incluida en el chip AS-i.

### **2.6.1.4 Suministro de energía**

La salida de alimentación de este bus no tiene conexión a tierra debido a que cumple con la norma IEC 7421 referida a tensiones de seguridad muy bajas con separación galvánica y protegida contra sobrecargas y cortocircuitos permanentes. La fuente de alimentación AS-i proporciona una alimentación de 30 VDC y hasta 8 A aislada de los datos. La fuente se divide en 2 bloques principales:

- Alimentación de 24 VDC, marcada como AS-i+ y AS-i-, aisladas de tierra
- Filtro el cual permite que se transmita datos por el cable y a la vez se suministre corriente eléctrica al bus.

Nota: es obligatorio de que la fuente de alimentación tenga conexión a tierra para que el aislamiento galvánico este protegido tanto de cambios brusco en la red eléctrica como prevenir los fenómenos causados por la electricidad estática.

### **2.6.1.5 Topología**

Se refiere a como están organizados los nodos de una red AS-i conectada a un maestro. Se debe considerar el número de nodos no debe exceder de 32 incluido el maestro AS-i, y la longitud máxima de extensión desde el maestro AS-i al nodo más lejano no debe exceder de 300 m, considerando la necesidad de usar 2 repetidores para este caso. La topología usada para el bus AS-i como su nombre lo dice es tipo bus pero también se puede migrar a una topología anillo.

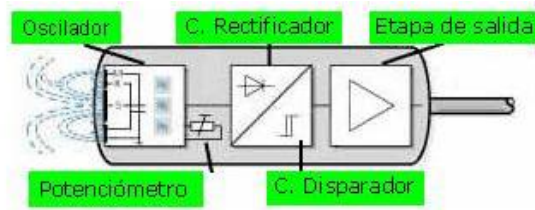
## **2.7 PIRAMIDE CIM (Computer Integrated Manufacturing)**

Es un nuevo tipo de estructura de producción dentro de los cuales se integran elementos como datos de procesos productivos, recursos humanos, tecnologías, logística, etc. Toda la información generada puede almacenarse en base de datos y ser accesible cualquier nivel dentro del organigrama de la empresa, permitiendo plantear y evaluar estrategias de manera integral. (Rodríguez, 2008, p3)

## **2.8 Sensores Capacitivos Discretos**

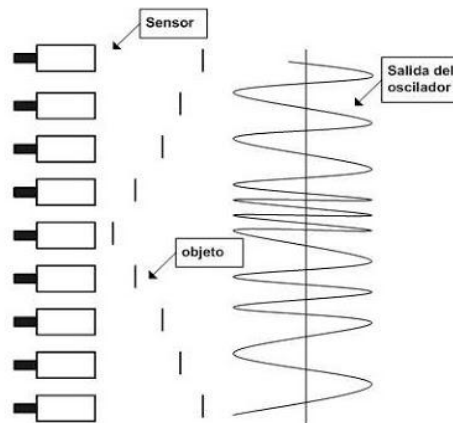
Este tipo de sensor tiene la misión de detectar aquellos materiales cuya constante dieléctrica sea mayor que la unidad (1). El sensor capacitivo basa su operación en el campo eléctrico que puede ser almacenado en una especie de capacitor, el cual dependiendo del material dieléctrico la carga almacenada será muy grande o pequeña, teniendo como base la constante dieléctrica del aire que es igual que 1. Para detectar un material que no sea el aire, el sensor capacitivo tiene que ser ajustado para que sepa que material debe detectar.





*Figura 2.1 Sensor Capacitivo*

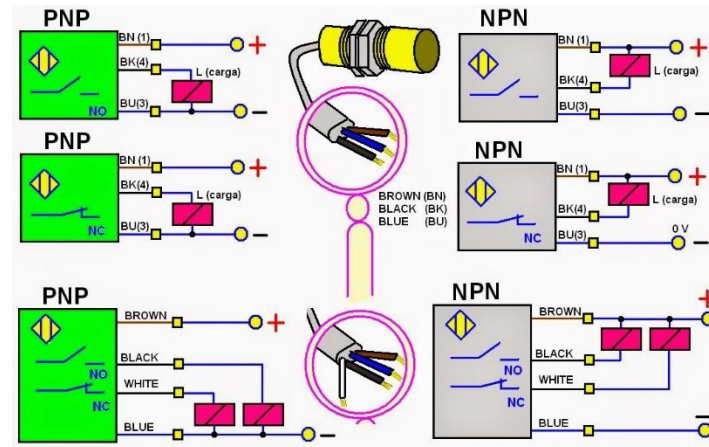
Los sensores capacitivos son un tipo de sensor eléctrico. Los sensores capacitivos (KAS) reaccionan ante metales y no metales, que a la superficie activa sobrepasan una determinada capacidad. La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica. Se dice que el sensor está formado por un oscilador cuya capacidad la forman un electrodo interno (parte del propio sensor) y otro externo (constituido por una pieza conectada a masa). El electrodo externo puede estar realizado de dos modos diferentes; en algunas aplicaciones dicho electrodo es el propio objeto a sensar, previamente conectado a masa; entonces la capacidad en cuestión variará la frecuencia de la señal sinusoidal en función de la distancia que hay entre el sensor y el objeto, tal como se muestra en la figura 1.2.



*Figura 2 2 Comportamiento del sensor capacitivo*

Estos sensores se emplean para la identificación de objetos, para funciones contadoras y para toda clase de control de nivel de carga de materiales sólidos o líquidos. Para detección de nivel en esta aplicación, cuando un objeto (líquido en el caso de la investigación) penetra en el campo eléctrico que hay entre las placas sensor, varía el dieléctrico, variando consecuentemente el valor de capacidad. En cuanto a su constitución para ser conectados a un instrumento de lectura pueden ser del tipo PNP y

NPN, ambos pueden presentar contactos normalmente abiertos (NO Normally Open) y/o cerrados (NC Normally Close). En la figura 1. 3 se puede apreciar esta característica de los sensores capacitivos.



*Figura 2.3 Tipos de sensores capacitivos*

### 2.8.1 Sensor de Proximidad Capacitivo CR30-15DP

El CR30-15DP es un sensor de proximidad capacitivo eléctrico de gran confiabilidad y larga vida útil. Cuenta con una pieza de detección de cloruro de polivinilo (PVC) y utiliza un cable resistente al calor. Dispone de circuito de protección contra sobrecargas integrado, circuito de protección contra polaridad invertida integrado e indicación de estado con LED rojo. La distancia de detección es ajustable con un ajustador de sensibilidad. Además presenta:

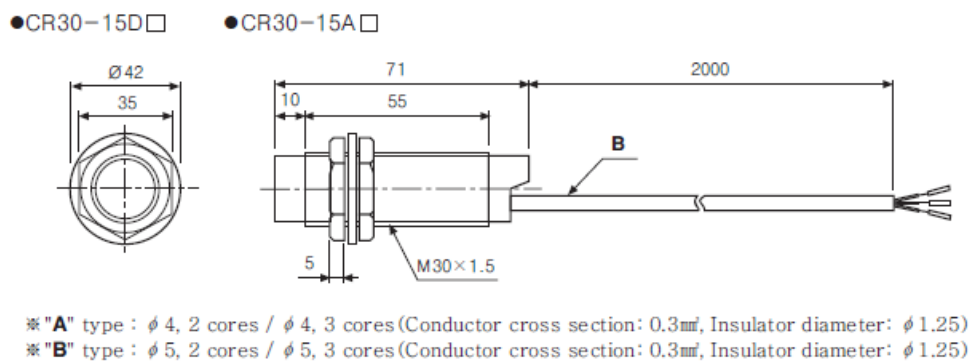
- Grado de protección IP65
- Indicador de funcionamiento con LED rojo
- Fácil control de nivel y posición
- Técnica de 3 alambres
- Rango de Detección Máx.: 15mm
- Tamaño de Rosca - Métrica: M30
- Salida del Sensor: Corriente

- Tensión de Alimentación DC Mín.: 12V
- Tensión de Alimentación DC Máx.: 24V



*Figura 2.4 Sensor Capacitivo CR30-15DP*

En la figura 1.5 se muestra las dimensiones del CR30-15DP que fueron consideradas en la instalación de estos en la planta a controlar.



*Figura 2.5 Dimensiones del Sensor Capacitivo CR30-15DP*

## **CAPITULO II: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION**

Los términos comunicaciones o redes industriales y protocolos de comunicación industrial son desarrollados en muchos documentos como si fuesen sinónimos, lo que causa un poco de confusión a quienes deseen involucrarse en este nuevo concepto adscrito a la automatización industrial. Podríamos definir cada uno de estos términos haciendo analogía a las redes informáticas en cuanto a su topología, su medio de comunicación y el protocolo de red con el cual se comunican entre ellas. El Protocolo Industrial AS-i se aplica a una red de dispositivos conectados mediante una topología bus cuyos nodos están organizados mediante dos tipos de elementos: como Master, el controlador que gobierna la transferencia de información en el bus y como Esclavos los sensores y actuadores que envían información y reciben señales de control respectivamente del controlador de la red. La comunicación entre los dispositivos es posible gracias a un sistema de transporte de señales mediante un cable de dos hilos por donde viajan señales de datos y la alimentación de los dispositivos.

El no tener los conceptos claros de estos términos descritos, no permite una comprensión rápida respecto a la comunicación de los dispositivos industriales para el control de procesos, considerando además del nivel donde se encuentra ubicado la aplicación del protocolo de red en la pirámide CIM. Conectividad de dispositivos, configuración y programación de estos, también es importante tener en consideración debido a que el hardware y el software son enlazados bajo el criterio de arquitectura distribuida en la cual la caída de la red de supervisión no afecta a la red de control, por lo que uno de los problemas radica en identificar las causas de una mala configuración de la red de control que afecte su operatividad y que provoque su caída.

La adaptación al nuevo enfoque de como los sistemas de control gobiernan los procesos industriales, basados en una arquitectura distribuida, es que causa un problema a quienes aún trabajan en base a arquitecturas centralizadas de control, debido al poco conocimiento de cómo estos están estructurados. A pesar que hay la bibliografía de conectividad y configuración de las distintas redes industriales basadas en protocolos propietarios, el tener que discernir entre los distintos comando de programación como son comandos de configuración, comandos de parametrización y comandos de

lectura/escritura de datos, es que ocasiona el poco acercamiento al uso de redes industriales.

La problemática en la aplicación de redes industriales y sus protocolos de comunicación que se mencionan, ocasiona que aun el diseño de los sistemas de control basados en PLC, se tenga aplicaciones donde las E/S se encuentren conectadas en módulos compactos en el mismo PLC, bajo un concepto de estructura centralizada y donde la supervisión de las variables quedan de lado debido a que el PLC no realiza esta tarea.

Por lo anteriormente expuesto, este proyecto de investigación como proyecto de Tesis para la obtención del Título Profesional; planteó el estudio y aplicación en el nivel de campo Sensor-Actuador de la pirámide CIM, el Protocolo Industrial AS-i con la finalidad de aplicar control discreto con el objetivo de dar un conocimiento más preciso de la configuración de los dispositivos de red industrial que forman parte de este protocolo.

## **2.9 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.9.1 Pregunta General**

¿Es posible mejorar el concepto de redes industriales en el control de procesos mediante la aplicación del Protocolo Industrial AS-i en el nivel de campo de la pirámide CIM utilizando dispositivos discretos?

### **2.9.2 Preguntas Específicas**

- ¿Qué criterios diferencian a las redes distribuidas de las redes centralizadas?
- ¿Cuál es la importancia de tener una correcta configuración de una red de campo respecto a la velocidad de transmisión y el número de nodos que éste controla?
- ¿Cuál es la posibilidad de conectar una red de campo directamente a una red de supervisión?

## **2.10 JUSTIFICACION , IMPORTANCIA Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACION**

### **2.10.1 JUSTIFICACIÓN**

Las empresas de producción tipo pymes vierten el concepto que para controlar sus procesos solo es necesario la adquisición de un PLC con E/S de tipos compactos o modulares, considerando que en ambos casos los módulos E/S se conectan directamente a la estructura del PLC, es decir aplicar una red de tipo centralizada basada en PLC la cual a menudo no cuenta con la ventaja de expansión de red de control. Esto es debido a que no solo es el costo del equipamiento, sino el desconocimiento de las ventajas de la aplicación de una red industrial con respecto a una red centralizada. Es por ello que este proyecto de tesis se abocó al conocimiento y la aplicación del Protocolo AS-i en el nivel de campo de una red de control con la finalidad de comprender y puntualizar en un documento los criterios que la diferencian de una red centralizada.

### **2.10.2 IMPORTANCIA**

La importancia de este estudio se centró en tener los conceptos precisos que diferencian a las redes de control centralizadas de las redes distribuidas, por lo que se investigó y aplicó conceptos de conectividad, configuración, parametrización y control a una red de campo, para este caso mediante la aplicación del Protocolo AS-i.

### **2.10.3 BENEFICIARIOS**

Por lo expuesto, la aplicación del presente trabajo de investigación se justifica, porque este estudio constituye en una herramienta necesaria que da a conocer conceptos de redes distribuidas mediante la aplicación de una red de campo industrial AS-i. La realización de este proyecto se planteó como base para servir de fuente confiable de información para posteriores trabajos de investigación que permita la aplicación de otros protocolos de control industrial.



## **2.11 OBJETIVOS.**

### **2.11.1 OBJETIVO GENERAL.**

Estudio y aplicación del Protocolo Industrial AS-i en el nivel de campo de la pirámide CIM utilizando dispositivos discretos para un proceso de control de nivel.

### **2.11.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Estudio de los criterios que diferencian a las redes distribuidas de las redes centralizadas.
- Estudio, evaluación y aplicación de criterios de configuración de una red de campo considerando su velocidad de transmisión y el número de nodos que éste controla.
- Conectividad de la red de campo AS-i a la red de control y evaluar la posibilidad de conectarla directamente a una red de supervisión.

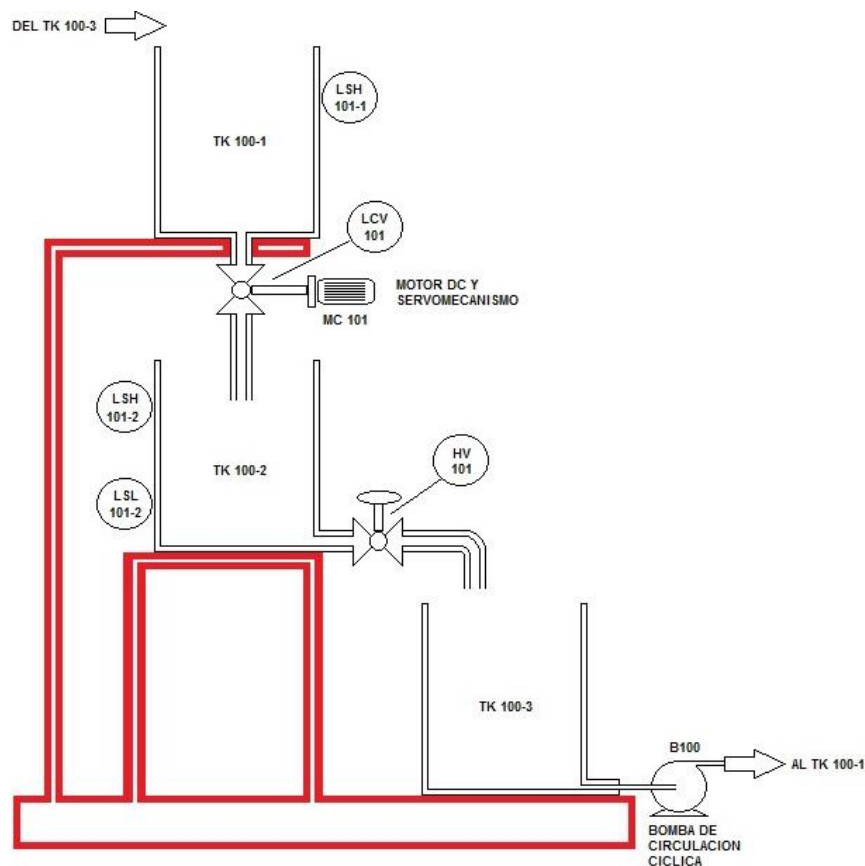
## CAPITULO III: INGENIERIA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En el presente capítulo se desarrolla toda la ingeniería del proyecto en cuanto a diseño tanto de la planta. Se incluye el diseño del módulo donde se encuentran los sensores y actuadores, además se especifican los criterios que se consideraron para elegir tanto los sensores como actuadores, el controlador principal y el controlador que gobierna a los dispositivos discretos.

### 3.1 DISEÑO DE LA PLANTA

#### 3.1.1 Diseño del Módulo de la Planta

Para la aplicación del protocolo industrial AS-i, se diseñó e implementó un módulo que consiste en colocar tres depósitos con niveles distintos para la circulación cíclica de agua. La ubicación de los depósitos se muestra en la figura 3.1, se describe en que consiste:



*Figura 3. 1 Esquema del Módulo de la Planta*

El diagrama de la figura 3.1 muestra el esquema de la planta en la que se consideran tres tanques a distintos niveles:

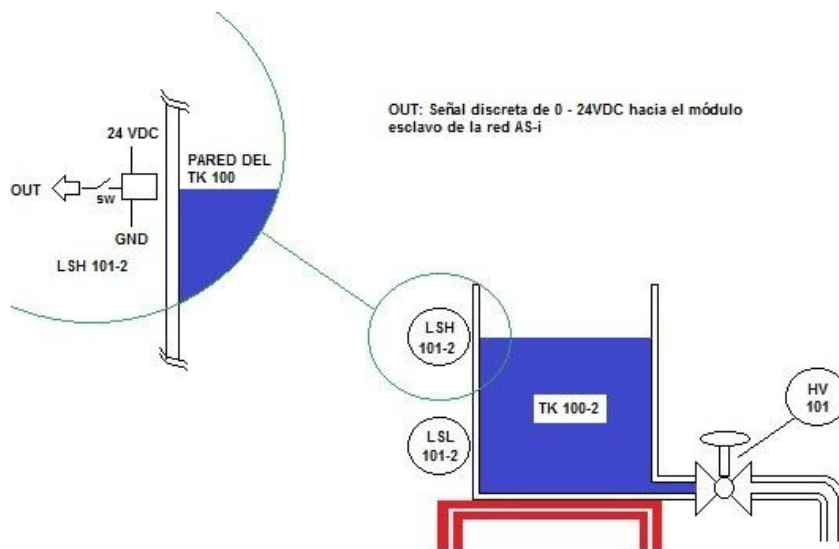
- TK 100-1, es el tanque surtidor de agua al sistema de control de nivel
- TK 100-2, es el tanque donde se realizará el control de nivel discreto
- TK 100-3, es el tanque de drenado

Adicionalmente también se identifica, según la simbología ANSI/ISA 50.1 referente a los diagramas P&ID, los distintos elementos que forman parte del sistema de control los cuales son:

- B100, el cual identifica a la bomba de agua DC que permite la recirculación del agua desde el tanque de drenado TK 100-3 al tanque surtidor TK 100-1.
- HV 101, el cual identifica a la válvula de accionamiento manual instalada en la parte inferior del TK-100-2 para que permita surtir de agua al tanque TK 100-3. La apertura o posición de la válvula es regulada para un caudal que permita la recirculación entre los tres tanques de la planta.
- LCV 101, el cual identifica a la válvula de control de nivel cuya apertura será gobernada por el motor DC MC 101.
- LSH 101-1, el cual identifica al sensor de nivel de alta de tipo discreto y que se utilizará para indicar al sistema de control que el tanque surtidor TK 100-1 cuenta con el volumen suficiente de agua para realizar el control cíclico de nivel.
- LSH 101-2, el cual identifica al sensor de nivel de alta de tipo discreto en el tanque de control TK 100-2, el cual indicará al sistema el nivel máximo del tanque de control.
- LSL 101-2, el cual identifica al sensor de nivel de baja de tipo discreto en el tanque de control TK 100-2, el cual indicará al sistema el nivel mínimo del tanque de control.

### 3.1.2 Diseño de la Etapa de Captación

Esta etapa se refiere a los criterios que se tomaron en cuenta para el diseño de los elementos sensores, en este caso los detectores de nivel que llevarán información al sistema de control para realizar el control de apertura de la válvula. Considerando que se realizará un control discreto y se aplicará la red de control de campo AS-i, es que la elección de estos sensores pasará que estos deberán ser de tipo netamente discretos, debido a que los módulos de captación de información, para la versión del protocolo AS-i que se va a utilizar son de tipo discreto. En la figura 3.2 se muestra el diseño requerido para los sensores de nivel del sistema de control, considerando que los tres son de las mismas características:



*Figura 3.2 Esquema de los sensores discretos de nivel*

La figura 3.2 muestra una ampliación de las características principales del sensor discreto para la detección de nivel en un depósito, en este caso los que estarán instalados en el TK 100-1 y TK 100-2. Este sensor deberá activarse con una salida OUT de 24VDC al detectar que el nivel del agua se encuentra en la misma línea de la instalación del sensor, es decir horizontalmente. Si el nivel aumenta de ese valor, el sensor seguirá emitiendo la salida de 24VDC, en caso contrario, si el nivel decae de esa línea horizontal, la salida del sensor será OUT de 0VDC.

### 3.1.3 Diseño de la Etapa de Actuación

La figura 3.3 muestra una ampliación del esquema del actuador, en este caso la válvula de control de nivel LCV, la cual se diseñó considerando su comportamiento como una válvula todo/nada con una apertura del 0 y 100%. Se considera para el diseño una válvula tipo bola cuya posición de apertura será gobernada por un motor DC cuyo eje se conecta a un reductor con un sistema de engranajes al eje de la válvula tal como se muestra en la figura en mención.

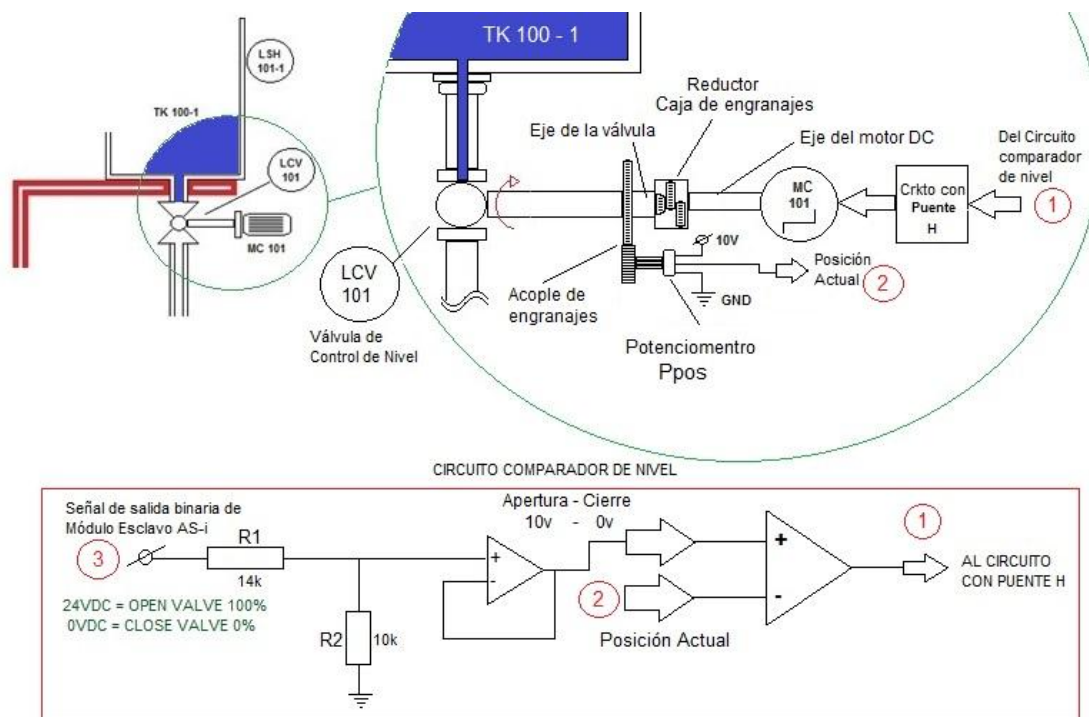


Figura 3.3 Esquema de la válvula de control de nivel LCV

Concéntricamente al eje de la válvula se coloca un engranaje acoplado a otro engranaje que se adhiere al eje del potenciómetro Ppos. El potenciómetro tiene una relación ángulo de posición – voltaje indicando si la válvula está abierta (100%) o cerrada (0%). Para que se conozca la posición de la LCV abierta o cerrada, el voltaje de Ppos se compara con el voltaje enviado por el controlador proveniente del esclavo de la red, en este caso el esclavo discreto AS-i. Si el esclavo envía una señal de 10v, el comparador enviará una señal positiva al puente H para hacer girar la válvula a apertura. Caso contrario si el esclavo envía una señal de 0v, se cerrará la válvula.

### 3.1.4 Dimensionamiento de los sensores y actuador

Las características de los tres sensores de nivel son las siguientes:

Envían una señal discreta de 0 ó 24Vdc en caso se detecte un nivel de líquido

El sensor deberá instalarse externamente al tanque TK 101-2, es decir debe ser de tipo no invasivo.

Debe ser calibrado para detectar agua.

Las características del actuador:

Válvula de bola de ½"

Motor DC de 12V/2A con reductor

Una (01) señal de salida de posición de apertura

Una (01) señal de entrada discreta para indicar apertura/cierre de válvula

### 3.1.5 Diseño de la red de control

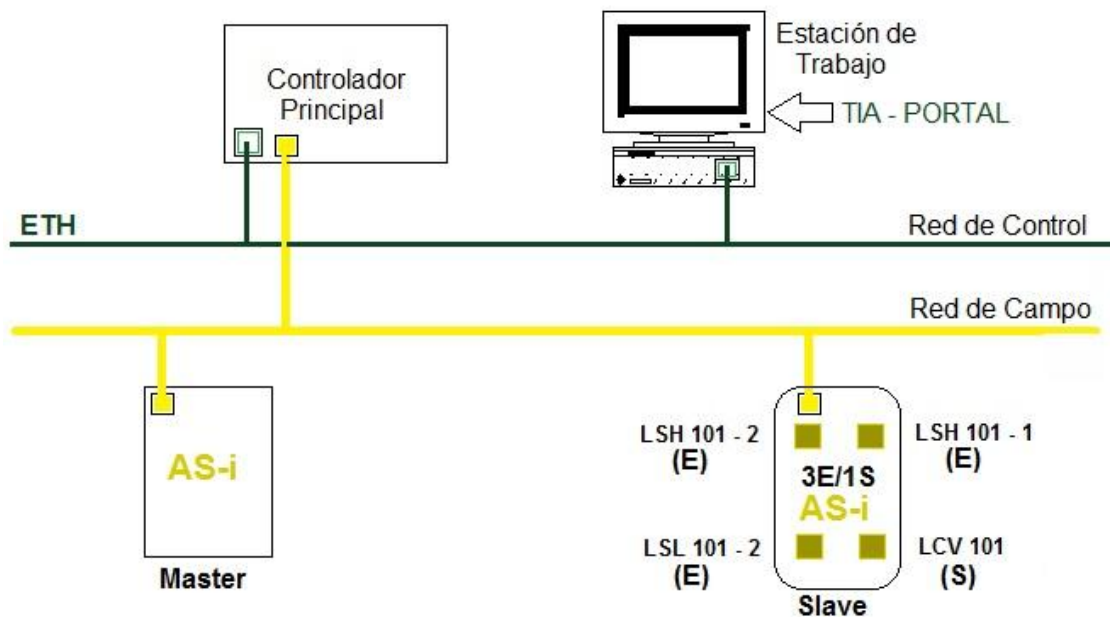


Figura 3.4 Esquema de la Red de Control

En la figura 3.4 se muestran dos niveles de la pirámide CIM de automatización industrial. El nivel campo donde encontramos la red de campo AS-i y el nivel de célula o nivel de control que está gobernado por la red control ETH – Ethernet. Este diagrama nos permite diferenciar los elementos que se conectarán directamente a la red de campo como son, los sensores de medición discretos para el nivel del líquido y el actuador que vendría a ser la válvula On/Off gobernada por un motor DC. La red de campo contará con tres elementos que son: primero tenemos el controlador maestro que estará conectado al controlador principal para la transferencia de los comandos de control; segundo tenemos al esclavo de la red de campo donde se conectará físicamente las señales de lectura de los sensores LSH 101-1, LSH 101-2, LSL 101-2 y la señal de control hacia el actuador LCV 101. El esclavo recibirá los comandos de control del controlador principal. Tercero tenemos al módulo que alimentará la red de campo. Entiéndase por comando de control aquel que utiliza el controlador maestro para leer el estado de los sensores discretos y para enviar la señal discreta de control de apertura o cierre de la válvula.

## **3.2 REQUERIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE CAMPO Y CONTROL**

### **3.2.1 Controlador Principal**

El controlador principal es el dispositivo que tendrá alojado el algoritmo de control del proceso. Su ubicación esquemática se muestra en la figura 3.4 donde se muestra que este dispositivo está conectado a la red principal de control mediante el protocolo Ethernet. A continuación se mencionan los requerimientos técnicos mínimos con los que cumple el controlador principal:

- Es de tipo compacto con E/S y modular para protocolos de comunicación.
- Soportar Interfaces de comunicación Ethernet y AS-i
- Es de fácil programación e incluye el lenguaje Ladder
- Presenta suministro de potencia acoplado 220VAC/24VDC



### 3.2.2 Controlador Maestro

Es el módulo acoplado directamente al controlador principal para la transferencia de información hacia y desde los dispositivos de campo AS-i. Sus características principales son:

- Hace las veces de pasarela entre el controlador principal y los dispositivos de campo AS-i.
- Es el manejador de los dispositivos de campo AS-i debido a que la topología de comunicación tipo bus parte de este.
- Permite alimentar con corriente DC a los módulos AS-i



*Figura 3.5 PLC S7 – 1200 CPU 1212C AC/DC/RLY*

### 3.2.3 Módulo Esclavo

Es un módulo al cual se conectan las interfaces discretas tanto de Entrada como sensores finales de carrera, tipo switch, etc., así como también los actuadores tales como motores DC, AC, válvulas todo nada, etc. Se debe considerar que la alimentación a cada una de estas interfaces se dimensiona dependiendo del tipo de corriente y su amperaje. Para el caso del proyecto se utiliza corriente DC. Según la versión del protocolo AS-i para módulos discretos estos tienen como máximo 4 E/S configurables. Su ubicación esquemática se muestra en la figura 3.4

### 3.2.4 Modulo esclavo AS-i 3RK2400-1DQ00-0AA3

Se detallan las características del módulo esclavo AS-i, el cual es de fabricación Siemens

Serie	:	3RK2 400-1DQ00-0AA3
Entrada / Salida digital	:	AS-Interface, K60 4DI / 4DO
Esclavo A / D	:	(4) entradas digitales de 24 VCC, 200 mA máx.
Modelo	:	PNP, 2/3 -Wire, Salidas digitales de 24VDC, 2A
c/u Socket conector	:	M12, asignación Y-II conexiones de entrada / salida
Placa de montaje	:	3RK1901-0CA00, IP67



*Figura 3 6* Módulo Esclavo AS-i 3RK1901-0CA00

## CAPITULO IV: REQUERIMIENTO DE LA RED DE CONTROL

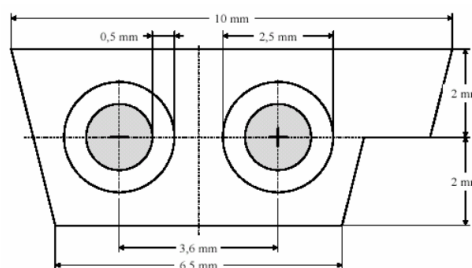
El capítulo anterior se basó en el diseño de la planta y la descripción de cada uno de los elementos que se acoplarán a esta como son el controlador principal, los módulos esclavos así como los sensores y el actuador. En este capítulo se pone énfasis en los criterios que se tienen en cuenta para establecer la comunicación entre los elementos de campo y el controlador principal. Se considera los módulos de control, el cable de comunicación y el software de configuración.

Para realizar la configuración de la red de control se cuenta con los siguientes elementos:

- Módulo Controlador Principal : PLC S7 – 1200 CPU 1212C AC/DC/RLY
- Módulo Master AS-i : CM 1243-2
- Módulo Desacoplador AS-i : DCM 1271
- Módulo Esclavo AS-i : 3RK1901-0CA00
- Cable de datos AS-i : Amarillo
- 

### 4.1 CABLE AS-i

El bus de campo AS-i, materia de estudio de este proyecto, es una herramienta a nivel de hardware y software utilizada para la interconexión y transmisión de señales entre módulos discretos denominados esclavos y un controlador central o maestro. Para la transmisión de información entre estos módulos se utiliza un medio guiado que consiste en un cable de dos hilos bifilar, plano, robusto y flexible, sin trenzar ni apantallar y con guía de posicionamiento cuya sección de cada hilo es de  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ .



*Figura 4 1 Cable de Conexión AS-i*

El cable AS-i estándar es de color amarillo (existen otras dos variantes, una para alimentación extra de corriente DC y la otra cuando las cargas son AC) y se utiliza para la transmisión simultánea de alimentación y datos con los esclavos.



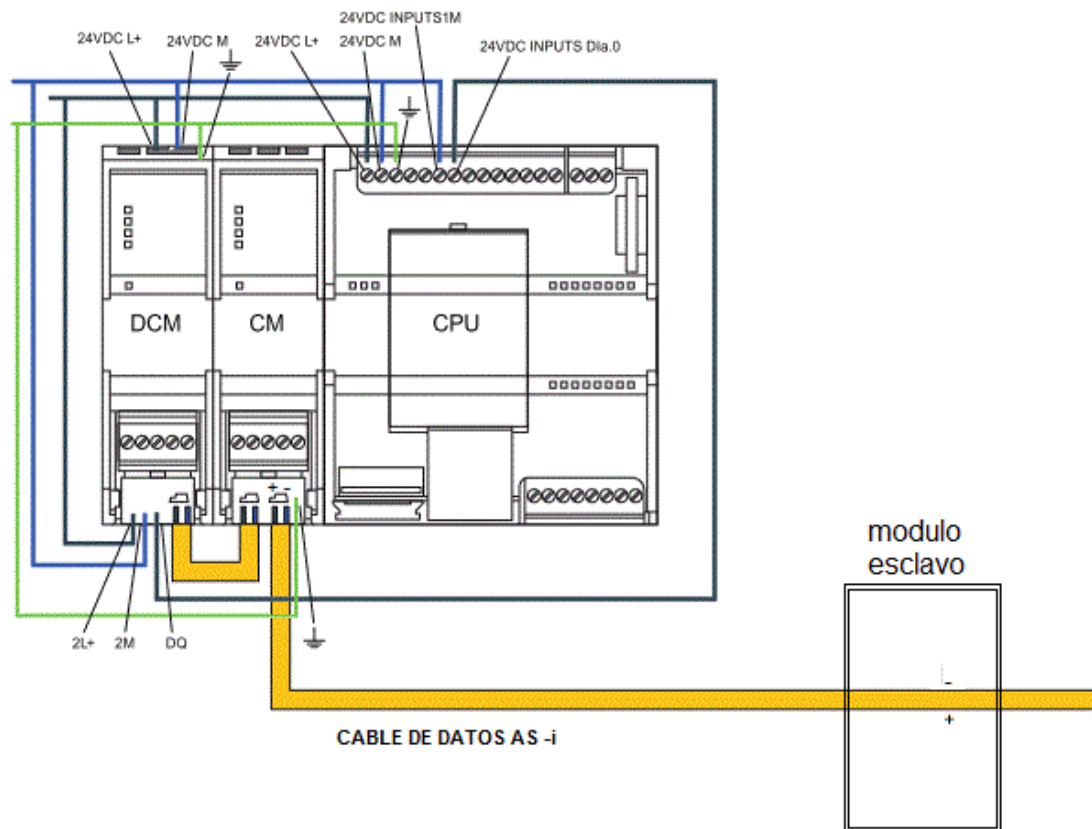
*Figura 4 2 Cable AS-i Siemens 3rx90-10*

Las especificaciones del cable AS-i son las siguientes:

Sección de los conductores	2x0.75/ 2x1.5/ 2x2.5 mm
Norma	DIN VDE 0295, clase 6
Terminal AS-i +	Marrón
Terminal AS-i -	Azul
Color cable de datos	Amarillo
Color cable de alimentación auxiliar 24VDC	Negro
Color cable de alimentación auxiliar 230VAC	Rojo
Tensión de servicio	300 V

#### **4.1.1 Conexión de Módulos con cable AS-i**

Para la conexión de módulos AS-i, se tiene presente que los terminales AS-i de un extremo del cable se conecta a los bornes del Maestro AS-i de acuerdo al diagrama de conexiones de este. Los terminales AS-i del otro extremo del cable se conectan al módulo esclavo tal como se muestra en la figura 4.3 en donde se debe tener en cuenta que la conexión del cable AS-i a los módulos esclavos es mediante la técnica del método de vampiro.



*Figura 4 3 Conexión de módulos con cable AS-i*

## 4.2 CONTROLADOR PRINCIPAL CPU 1212C

El PLC de gama baja S7-1200 de Siemens, es un controlador con alta flexibilidad en el manejo de una amplia variedad de dispositivos de campo en la integración de los procesos automatizados. El S7-1200 es de estructura compacta, modular respecto a E/S y comunicación en red además que su configuración es flexible. Presenta un potente conjunto de instrucciones con programación en KOP (Ladder o escalera) AWL (instrucciones de máquina) y FUP (diagrama de bloques lógicos).

El PLC posee las siguientes características básicas en su estructura compacta:

- Módulos E/S discretas
- Fuente de alimentación: AC 110/220 V - DC 24 VDC
- Comunicación ETH TCP/IP para configuración, programación y anclaje en red
- Tarjeta de memoria de programa

Para la programación y configuración de los módulos E/S, el S7-1200 dispone de las siguientes áreas de memoria:

- Memoria de carga - almacenamiento no volátil para el programa de usuario, los datos y la configuración.
- Memoria de trabajo - almacenamiento volátil para elementos del proyecto de usuario
- Memoria retentiva - almacenamiento no volátil que "retiene" una cantidad limitada de valores de la memoria de trabajo durante una pérdida de potencia

### **4.3 MASTER AS-i CM 1243-2**

Se describió que el Master AS-i se utiliza como pasarela de comunicación entre el controlador maestro y el módulo esclavo AS-i. La pasarela se debe a que tanto el controlador maestro como el esclavo intercambian datos en distintos protocolos de comunicación. Según la descripción de su manual, el maestro AS-i CM 1243-2 permite la conexión de una rama AS-i al sistema de automatización gobernado por controladores de la gama S7-1200 de SIMATIC. Mediante el maestro AS-i se puede acceder desde el sistema de automatización a las entradas y salidas de los esclavos AS-i.

### **4.4 DESACOPLADOR AS-i DCM 1271**

El módulo de desacoplamiento de datos AS-i DCM 1271 se necesita como accesorio para el maestro AS-i en caso no exista integrada ninguna fuente de alimentación AS-i en el bus, como es el caso de este proyecto.

### **4.5 MODULO ESCLAVO AS-i**

El bus de campo AS-i está definido mediante la norma EN 50295 y su diseño se debe a 11 empresas del rubro de la automatización que tuvieron como fin estandarizar la comunicación de dispositivos discretos.

**Rodríguez, (2008)** detalla que *“cualquier elemento digital puede conectarse a un bus de este tipo mediante un módulo de adaptación que incorpore el chip AS-i” (p.67),*

según la modularidad AS-i para los esclavos, existen tres tipos de esclavos Actuador/Sensor:

- Convencional los cuales ocupan un solo bit en cada dirección del bus.
- Convencional comunicante, el cual es un esclavo común con un chip AS-i
- Esclavo AS-i que son los módulos esclavos comercializados por distintas compañías. Estos ocupan una dirección completa del bus (4 bits)

Para el caso del proyecto se utiliza un módulo de interface para poder conectar los dispositivos esclavos convencionales al bus AS-i

En sí, los esclavos AS-i o convencionales se interconectan mediante un único canal de comunicación utilizando el cable AS-i conectados en topología bus. La versión inicial AS-i 1.0 permite interconectar un máximo de 31 nodos y cada nodo conecta como máximo 4 sensores y 4 actuadores. El proyecto se rige por esta versión.

#### 4.6 ACOPLAMIENTO DEL MASTER AS-i

Los PLC Simatic S7-1200 son modulares en el bloque de comunicaciones industriales. Se muestra en la figura 4.4 que el acoplamiento de módulos de comunicaciones al S7-1200 se realiza colocando estos, al lado derecho del controlador principal. Para el proyecto se ha considerado el uso del S7-1200 con CPU 1211C AC/DC/RLY como controlador principal debido a que permite acoplar una interface de comunicación Master AS-i.



*Figura 4.4* Acoplamiento de Módulos E/S y Comunicaciones de S7-1200



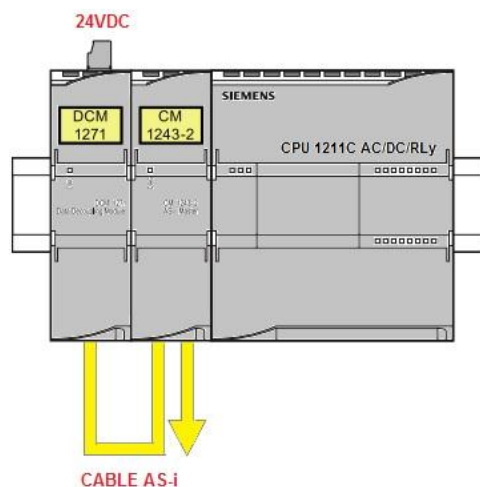
El PLC S7-1200 CPU 1211C, permite el acoplamiento del módulo Master AS-i el cual maneja la comunicación de dispositivos AS-i y el controlador principal. En la figura 4.4 se muestran los módulos Master AS-i CM 1243-2 y el de desacoplamiento de datos AS-i DCM 1271.



*Figura 4.5* Módulo Master AS-i y Desacoplador DCM 1271

#### **4.7 DESACOPLADOR DCM 1271 A LA RED AS-i**

Considerando que en el proyecto no se considera una fuente DC en la red, se optó por el desacoplador AS-i DCM 1271 el cual se acopla en serie al Master AS-i. El módulo de desacoplamiento de datos AS-i DCM no tiene ninguna conexión al bus de comunicación S7, es por ello que este módulo siempre se inserta a la izquierda de un máximo de tres módulos de comunicación, es decir a su derecha siempre debe estar el módulo master AS-i por recomendación de Siemens.



*Figura 4.6* Conectividad S7-1200 con módulos Master AS-i y Desacoplador DCM 1271

## 4.8 CONFIGURACION DEL MASTER AS-i CM 1243-2

La configuración de los módulos adaptables a los controladores Siemens modelo S7-1200 se realiza mediante el STEP 7 a partir de la Versión 11 conocido como TIA Portal. En este caso el módulo Master AS-i 1243-2 debe estar incluido en el catálogo del hardware del programa, caso contrario es necesario adquirirlo mediante un Hardware Support Package a través de la página Service & Support de Siemens. Se debe tener en cuenta que el módulo AS-i DCM 1271 no debe configurarse debido a que este no intercambia datos con S7-1200. Para la configuración del Master AS-i se muestra el esquema del Hardware del Sistema

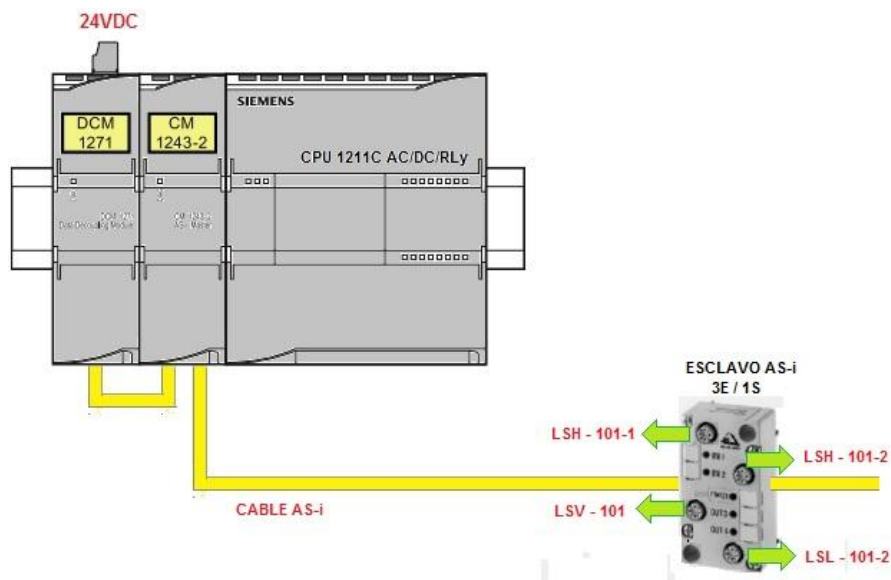
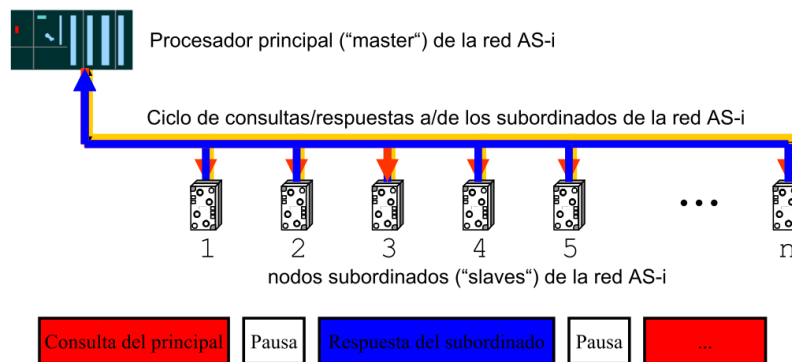


Figura 4.7 Esquema de Red de Campo AS-i Maestro – Esclavo

### 4.8.1 Control del Acceso al Medio – Red AS-i

- La red AS-i sigue el esquema de comunicación principal /subordinado (master/slave)
- En cada red existe un único procesador principal (AS-i Master) que se comunica con los procesadores o nodos subordinados (AS-i slaves) presentes en la red.

- El procesador principal consulta, de forma cíclica y por turno (cyclical polling), a todos los nodos subordinados. En cada ciclo el procesador recibe información sobre el estado de los sensores y actualiza la información de los actuadores conectados a cada nodo subordinado.
- Para ello se produce un intercambio de mensajes, entre el procesador principal y los subordinados



*Figura 4.8 Estructura General de un intercambio de intercambio en AS-i*

#### 4.8.2 Control Lógico

- Forma de identificar funcionalmente y direccionar los procesadores de comunicación subordinados.
- Los modos de funcionamiento del propio procesador de comunicaciones principal.
- La estructura de los mensajes utilizados para llevar a cabo las funciones que controlan el intercambio de información.
- El formato de las órdenes de protocolo de enlace de la red de comunicación AS-i

#### 4.8.3 Identificación funcional de los subordinados

Todos los módulos subordinados al bus AS-i se definen mediante dos combinaciones binarias de 4 bits que constituyen un perfil AS-i. Estas combinaciones son:

- Código de Entrada/Salida (“I/O Code”): especifica el tipo de dispositivos de campo conectables a cada uno de sus terminales de conexión. Las combinaciones se muestran en la figura 4.9

I/O Code	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit4	Perfil E/S
<b>0</b>	E	E	E	E	<b>4E</b>
<b>1</b>	E	E	E	S	<b>3E/1S</b>
<b>2</b>	E	E	E	E/S	<b>4E/1S</b>
<b>3</b>	E	E	S	S	<b>2E/2S</b>
<b>4</b>	E	E	E/S	E/S	<b>4E/2S</b>
<b>5</b>	E	S	S	S	<b>1E/3S</b>
<b>6</b>	E	E/S	E/S	E/S	<b>4E/3S</b>
<b>7</b>	E/S	E/S	E/S	E/S	<b>4E/4S</b>
<b>8</b>	S	S	S	S	<b>4S</b>
<b>9</b>	S	S	S	E	<b>1E/3S</b>
<b>A</b>	S	S	S	E/S	<b>1E/4S</b>
<b>B</b>	S	S	E	E	<b>2E/2S</b>
<b>C</b>	S	S	E/S	E/S	<b>2E/4S</b>
<b>D</b>	S	E	E	E	<b>3E/1S</b>
<b>E</b>	S	E/S	E/S	E/S	<b>3E/4S</b>
<b>F</b>	E/S/NU	E/S/NU	E/S/NU	E/S/NU	<b>4E/4S o no utilizado</b>

*Figura 4.9 Códigos de E/S AS-i*

- Código de Identificación (“ID Code”): define su funcionalidad, es decir el tipo de dispositivo de campo para el que ha sido diseñado.

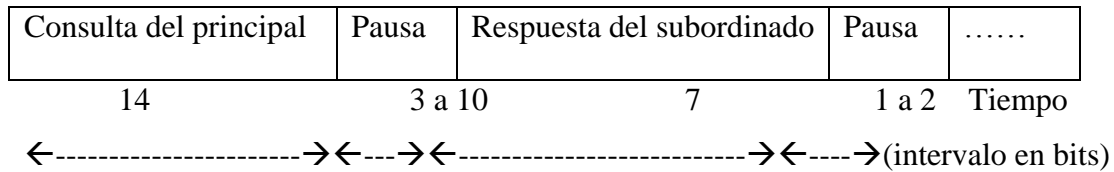
#### **4.8.4 Identificación de dirección de Subordinados**

Además de su perfil AS-i, cada módulo subordinado tiene asociada una combinación binaria de 5 bits, que establece su dirección AS-i dentro de la red que puede tomar cualquier valor desde el 01 al 31, considerando que la dirección 00 le pertenece al módulo master.

#### **4.8.5 Formato y Tiempo de Mensajes AS-i**

(Armesto, 2007) Explica que “El proceso de comunicación se lleva a cabo mediante el intercambio de información entre el procesador de comunicaciones principal y cada uno de los subordinados a través de mensajes” (p.56)

Para ello se establece la siguiente estructura



La unidad de tiempo para el envío de bits de un bit de información es de 6 us. Por lo tanto, el tiempo dedicado por lo general a una transacción de información con un solo módulo subordinado (Esclavo versión 2.0) se calcula de la siguiente manera:

- $T_{\text{Bits}} = \# \sum \text{total \# bits de las tramas del maestro y el subordinado}$
- $T_{\text{dbit}} = \text{tiempo de duración de bit}$
- $T_{\text{coMS}} = \text{tiempo de consulta entre maestro y subordinado}$

$$T_{\text{Bits}} = (14 + 4 + 7 + 1) = 26$$

$$T_{\text{dbit}} = 6 \text{ us}$$

$$T_{\text{coMS}} = T_{\text{Bits}} * T_{\text{dbit}} = 26 * 6 \text{ us} = 156 \text{ us}$$

Ejemplo: Calcular el número de bits que consume la pausa del maestro

Para una velocidad de transmisión máxima  $V_{\text{TX}} = 167 \text{ Kb/s}$  que corresponde a una duración de bit  $T_{\text{dbit}} = 6 \text{ us}$ , considerando los 31 subordinados:

Según la norma, 31 esclavos consumen 5 ms. Por lo tanto el consumo de pausa del maestro debe ser mínimo, si consideramos una pausa de tiempo de subordinado de 2bits.

- $T_{\text{Bits}} = \# \sum \text{total \# bits de las tramas del maestro y el subordinado}$
- $P_{\text{master}} = \text{tiempo en bits de la pausa del maestro}$

$$T_{Bits} = \frac{5 \text{ ms}}{T_{abit} \times (n^{\circ} \text{ esclavos})} = \frac{5 \text{ ms}}{6 \times 10^{-6} \times 31} = 26.88 \text{ bits} \cong 26 \text{ bits}$$

$$26 \text{ bits} = 14 + P_{\text{master}} + 7 + 2$$

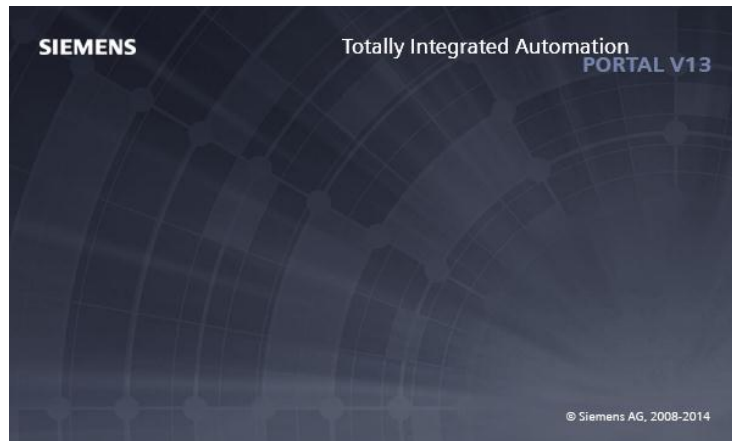
$$P_{\text{master}} = 3 \text{ bits}$$

## 4.9 CONFIGURACION Y CONECTIVIDAD DE LA RED DE CAMPO

En este capítulo se realiza la configuración de la red de control, y la conectividad en la que se considera todos los dispositivos conectados a la red de campo como son los sensores y el actuador. Tanto los sensores discretos de nivel colocados en los tanques TK 100-1 y TK 100-2 así como la válvula discreta todo nada LCV 101 , tienen su conexión a la red a través del módulo esclavo AS-i utilizando para ello conectores tipo M12 de 5 hilos.

### 4.9.1 HERRAMIENTA DE CONFIGURACIÓN

Para la configuración de la red AS-i, se hizo uso del software de desarrollo Simatic Step 7 de Siemens versión V.13 TIA PORTAL. Este software se utiliza para el desarrollo de aplicaciones teniendo las opciones de configuración, programación y ejecución para dispositivos de la familia Siemens S7-300, S7-400, S7-1200 y S7-1500. Así también se configuran los dispositivos acoplables a estos, como por ejemplo en el caso de la tesis, el módulo maestro AS-i CM 1243-2.

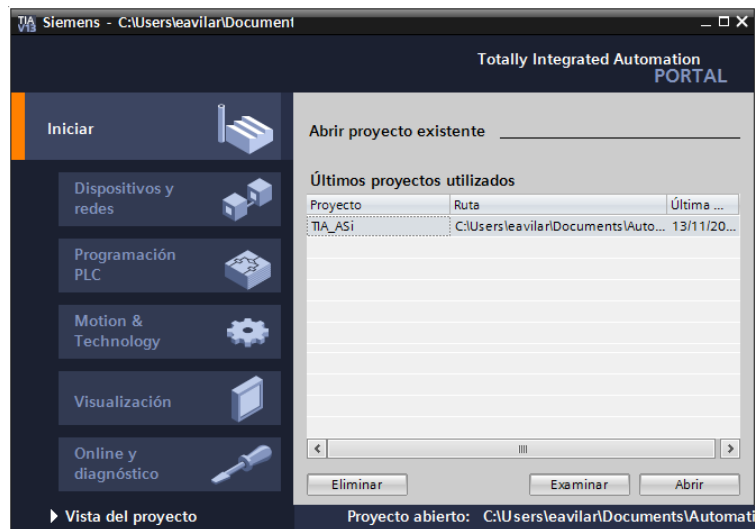


*Figura 4.10* Software de configuración TIA PORTAL V13

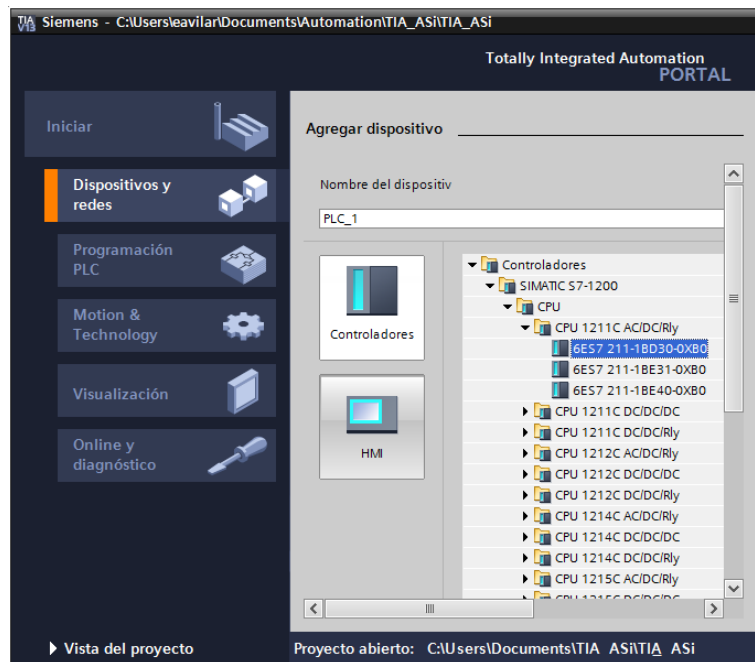
Para la configuración de la red, lo primero que se hace es iniciar un nuevo proyecto, en este caso se le ha llamado TIA\_ASi, tal como lo muestra la figura 4.11. Lo primero que se considera para iniciar la configuración es al módulo que va a gobernar la red de control, para el proyecto se consideró al PLC Siemens CPU 1211C AC/DC/RLy. A continuación se realiza la descripción de la secuencia de configuración de la red de control del proyecto.

#### **4.9.2 Configuración de la Red AS-i**

Luego de creado el proyecto TIA\_ASi, elegimos la opción Dispositivos y redes y luego, agregar dispositivo, en el cual se elegirá como controlador principal al PLC CPU 1211C, tal como se muestra en la figura 4.12.



*Figura 4.11 Iniciar un Proyecto en TIA PORTAL*

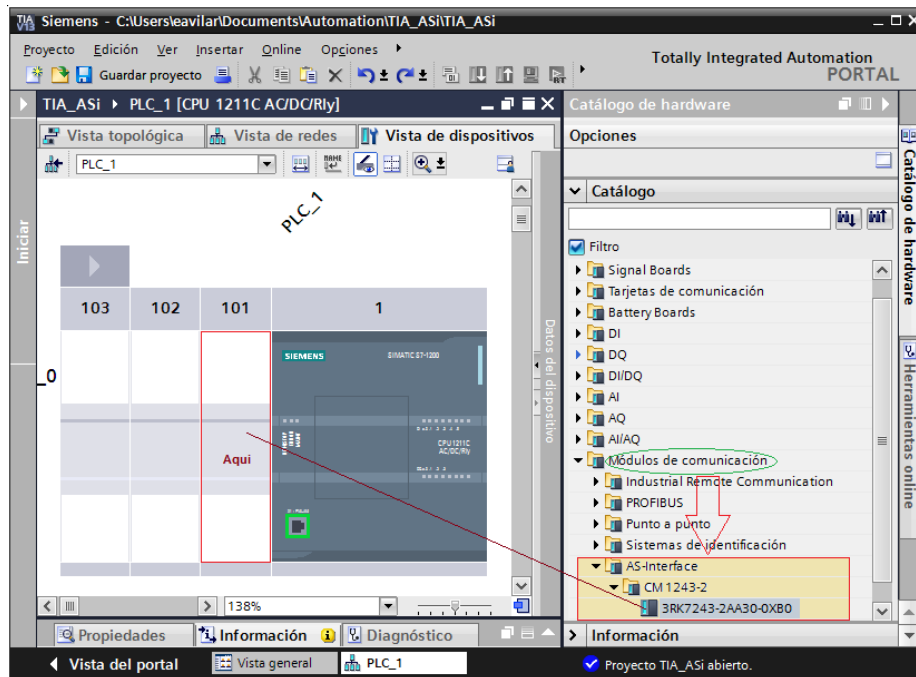


*Figura 4.12 Elección del Controlador Principal CPU 1211C*

En la descripción del controlador CPU 1211C AC/DC se muestran las siguientes características generales: Memoria de trabajo 25KB; fuente de alimentación 120/240V AC con DI6 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ4 x relé y AI2 integradas; 3 contadores rápidos (ampliables con Signal Board digital) y 2 salidas de impulso integradas; Signal Board amplía I/O integradas; hasta 3 módulos de comunicación para comunicación serie; 0,1ms/1000 instrucciones; conexión PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC

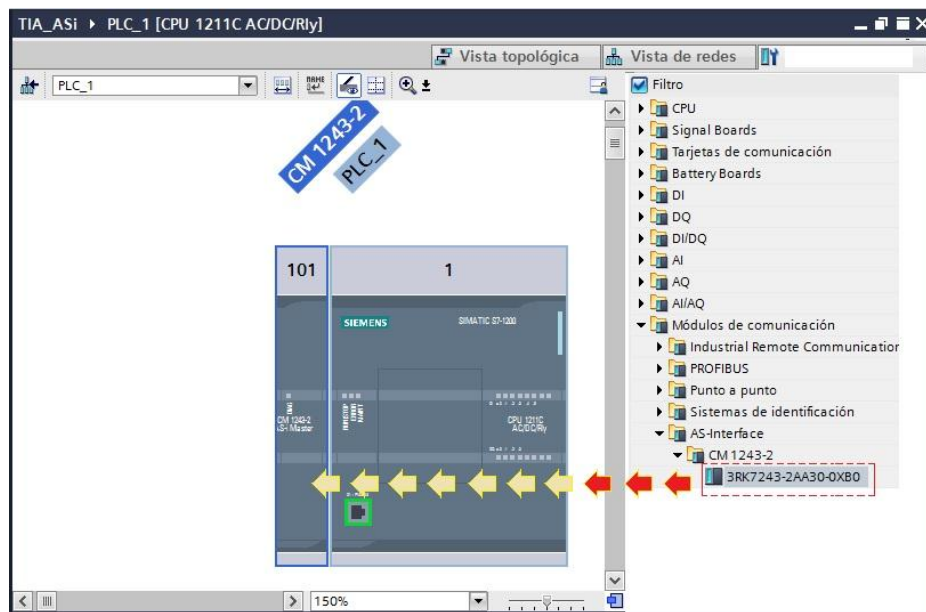


Luego de agregar al PLC a red, procedemos a elegir del catálogo de hardware, el módulo de comunicación AS-i CM 1234-2 y lo arrastramos a la posición tal como lo indica la figura 4.13



*Figura 4.13 Elección del Módulo AS-i CM 1243-2 a la red de control*

La configuración debe quedar tal como se visualiza en la figura 4.14 donde queda configurada la conexión entre el módulo del plc S7-1200 con el módulo Master AS-i CM 1243-2



*Figura 4.14* Conectividad S7-1200 y Master AS-i CM 1243-2

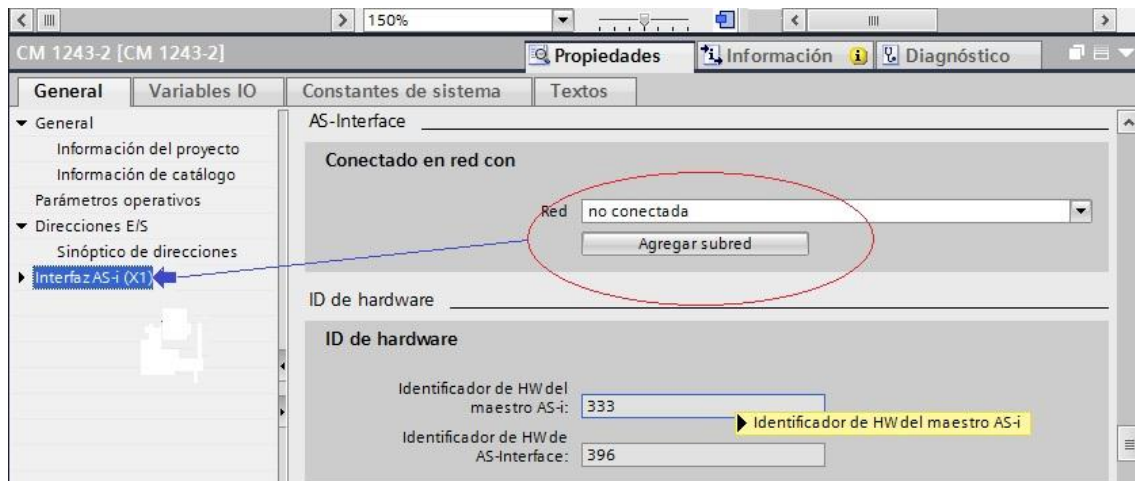
La información general del Master AS-i especifica el nombre del módulo como CM 1243-2, el slot en donde se encuentra ubicado respecto al PLC S7-1200, el cual es el 101 tal como se muestra en la figura 4.14; además describe que el módulo de comunicaciones para AS-i soporta la especificación AS-i V3.0 en este caso.

En cuanto a sus parámetros operativos se consigna dos:

- Alarma de diagnóstico en caso de error en configuración AS-i
- Programación automática de direcciones. (no es necesario asignar direcciones de E/S)

### 4.9.3 Configuración de la Interfaz AS-i

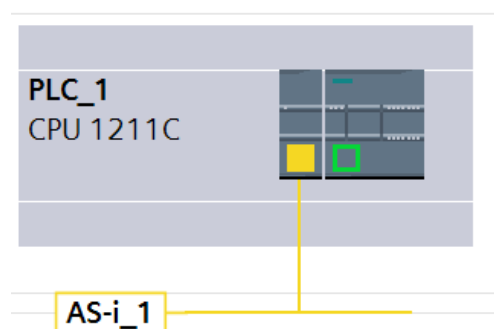
En esta parte se establece la sub red que se crea para la conexión con dispositivos AS-i. En la opción Red, elegimos AS-i\_1 para que permita conectar al master AS-i, los módulos esclavos AS-i



*Figura 4.15 Configuración de la Interfaz de Comunicación AS-i\_1*

#### 4.9.4 Dispositivos Esclavos AS-i

Una vez configurada la interface de comunicación AS-i\_1, como se muestra en la figura 4.16, se procede a conectar y configurar esclavos AS-i para que se comuniquen con el Master AS-i. Para ello en el catálogo de hardware, en dispositivos de campo AS-Interface, en módulos de entrada/salida digitales AS-i K60 IP6x, elegimos la 3RK2 400 1FQ03-0AA3 el cual es un módulo discreto de 4 entradas y 3 salidas. Esto se muestra en la figura 4.17. Después de ello conectamos el bus AS-i\_1 al módulo esclavo.



*Figura 4.16 Red AS-i\_1*

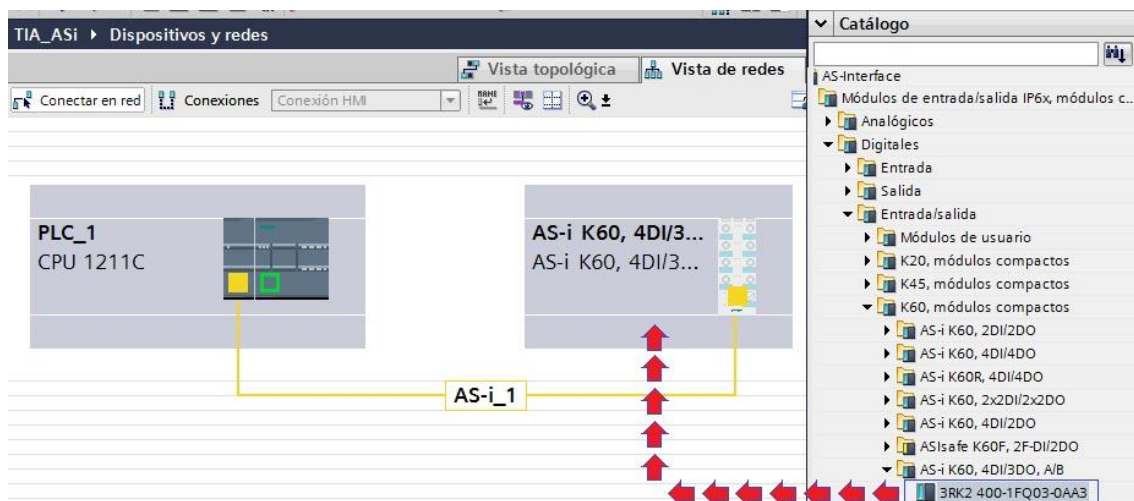


Figura 4.17 Conexión y configuración de esclavo AS-i a la red AS-i\_1

#### 4.9.5 Configuración del Esclavo AS-i

El paso siguiente es la configuración de las características del módulo esclavo AS-i. Se debe considerar que la dirección asignada es automática lo cual se configuró como parámetro operativo del módulo master AS-i. En la figura 4.18 se muestra la descripción del módulo como por ejemplo que sus entradas/salidas están elaboradas por hardware para dispositivos PNP, entre otras, así también se muestra la asignación de entrada (IN) y salida (OUT) a cada conector de socket M-12.

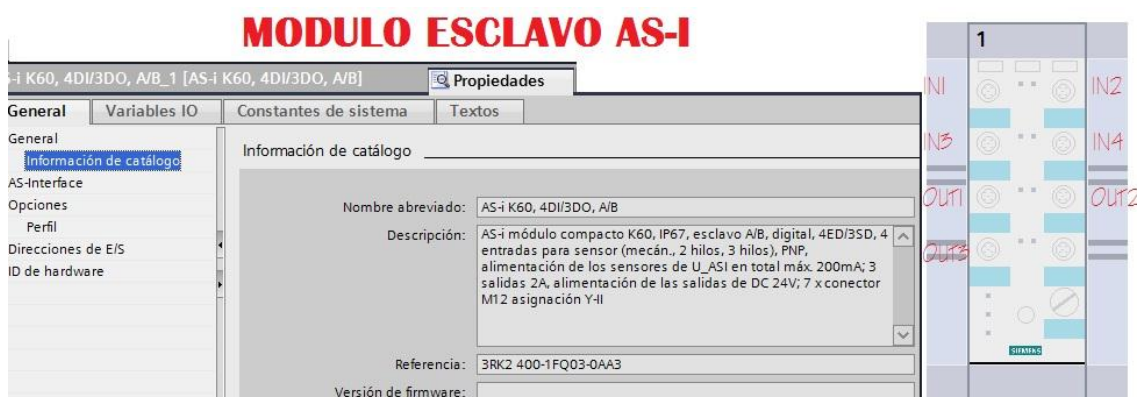


Figura 4.18 Descripción del Módulo Esclavo AS-i

En cuanto a las direcciones asignadas a cada conector, estas empiezan tanto para las entradas como las salidas en la dirección 63. La dirección asignada para cada conector se muestra en la tabla 4.19 y en la configuración del TIA mostrado en la figura 5.10.

Figura 4.19 Asignación de direcciones de E/S al módulo esclavo AS-i

		DIRECCION FISICA SLAVE AS-i	IDENTIFICACION P&ID DEL INSTRUMENTO	DESCRIPCION FUNCIONAL DEL INSTRUMENTO
ENTRADAS	IN1	63.0	LSH 101-2	sensor de nivel de alta de tipo discreto en el tanque de control TK 100-2
	IN2	63.1	LSL 101-2	sensor de nivel de baja de tipo discreto en el tanque de control TK 100-2
	IN3	63.2	LSH 101-1	sensor de nivel de alta de tipo discreto en el tanque surtidor TK 100-1
	IN4	63.3	NONE	
SALIDAS	OUT1	63.0	LCV 101	válvula de control de nivel será gobernada por el motor DC MC 101
	OUT2	63.1	NONE	
	OUT3	63.2	NONE	

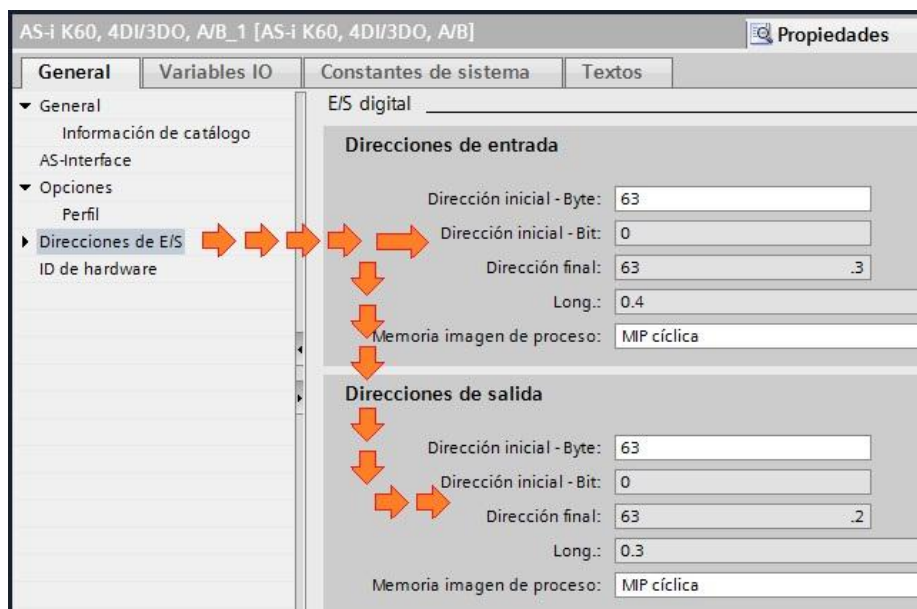


Figura 4.20 Asignación de direcciones a los conectores del módulo Esclavo AS-i

#### 4.10 CONECTIVIDAD DE DISPOSITIVOS DE CAMPO

Después de descrito cada uno de los elementos que forman parte de la planta de control AS-i, se consideró la conectividad entre cada uno de ellos para el diseño del algoritmo de control y la programación en el entorno TIA PORTAL. Se considera para la especificación en los diagramas que se muestran en la figura 4.21, respecto a la simbología ISA S50.1 de la conexión hacia el PLC S71200, lo especificado para las entradas PLC A, PLC-C y PLC-D en las direcciones asignadas al módulo esclavo AS-i las cuales son I63.1, I63.0 y I63.2 respectivamente; así también la salida PLC-B en la

dirección AS-i Q63.0. Las entradas y salidas y su asignación de dirección lógica y dispositivo se detallan en la tabla 4.17.

#### **4.11 FILOSOFIA DE CONTROL**

Las estrategias de control son establecidas en documentos los cuales son las requeridas para realizar el control de procesos industriales que involucran la medición, transmisión, control y monitoreo de muchas variables (nivel, presión, temperatura, caudal entre otras) las cuales pueden ser leídas o manipuladas de forma analógica y/o discreta y aplicación del protocolos industriales como el caso de la aplicación del bus AS-i como un bus de campo de sensores y actuadores discretos para gobernar el control de nivel de donde la captación de información y las señales de actuación todas ellas de tipo discretas, provengan o estén enlazadas como una red industrial de esclavos Sensor – Actuador a un controlador de comunicación Master AS-i y este a su vez, a un controlador S7-1200 para la transferencia de información entre el proceso y el sistema de monitoreo y supervisión mediante una red industrial Ethernet.

Para el control de la planta aplicando el protocolo industrial AS-i, se diseñó e implementó un módulo que consiste en colocar tres depósitos con niveles distintos para la circulación cíclica de agua. La ubicación de los depósitos se muestra en la figura 3.1

- TK 100-1, es el tanque surtidor de agua al sistema de control de nivel
- TK 100-2, es el tanque donde se realizará el control de nivel discreto
- TK 100-3, es el tanque de drenado

Los tanques TK 100-1 y TK 100-2 cuentan con sensores como se muestran en la figura 3.2 que enviarán su respectiva lectura de nivel en tiempo real al módulo esclavo AS-i conectados con sus respectivos conectores M-12.

El tanque TK 100-1 cuenta con 2 sensores capacitivos CR30-15DP de nivel discreto:

- LSH 101-1, el cual identifica al sensor de nivel de alta de tipo discreto y que se utilizará para indicar al sistema de control que el tanque surtidor TK 100-1 cuenta con el volumen suficiente de agua para realizar el control cíclico de nivel.
- LSH 101-2, el cual identifica al sensor de nivel de alta de tipo discreto en el tanque de control TK 100-2, el cual indicará al sistema el nivel máximo del tanque de control. Como se muestran en la fig. 3.2

El tanque TK 100-2 cuenta un sensor capacitivo CR30-15DP y válvula gobernada por un motor DC

- LSL 101-2, el cual identifica al sensor de nivel de baja de tipo discreto en el tanque de control TK 100-2, el cual indicará al sistema el nivel mínimo del tanque de control.
- LCV 101, el cual identifica a la válvula de control de nivel cuya apertura será gobernada por el motor DC MC 101. Como se muestran en la figura 3.2

#### **4.11.1 Proceso de captación**

Los detectores de nivel llevarán información al sistema de control para realizar el control de apertura de la válvula. Son sensores capacitivos. Estos sensores se emplean para la detección del nivel en los tanques. Para detección de nivel en esta aplicación, cuando un objeto (líquido en el caso de la investigación) penetra en el campo eléctrico que hay entre las placas sensor, varía el dieléctrico, variando consecuentemente el valor de capacidad. En cuanto a su constitución para ser conectados a un instrumento de lectura pueden ser del tipo PNP y NPN, ambos pueden presentar contactos normalmente abiertos (NO Normally Open) y/o cerrados (NC Normally Close).

Todo se muestra en el diagrama de conectividad de dispositivos de campo que se muestra en la figura 4.21





#### 4.11.2 Etapa de actuación

IF LSH1011 == 1 THEN

B100=0;

LCV101=1;

ELSE

B100=B100;

LCV101=LCV101;

ENDIF;

Cuando LSH 101-1(sensor de nivel alto del tanque TK100-1), estado activo; activara LCV 101(válvula gobernada por el motor DC MC 101)

IF LSH1012 == 1 THEN

LCV101=0;

ELSE

LCV101=LCV101;

ENDIF;

SI sensor LSH 101-2 (sensor de nivel alto del tanque TK 100-2), estado activo cerrara LCV 101(válvula gobernada por el motor DC MC 101)

IF LSL1012 == 0 THEN

HV101=0;

ELSE

HV101=HV101;

ENDIF;

Leemos los estados LSL 101-2 (sensor de nivel bajo) y de la HV (válvula manual de drenaje del tanque TK 100-2)

IF TK1001 >= 75 THEN

TK1001=75;

LSH1011=1;

ELSE

LSH1011=0;

TK1001=TK1001;

ENDIF;

Si nivel de TK 100-1 (tanque 1) es igual a 75; activara el estado de LSH 101-1 (sensor de nivel alto del tanque TK 100 -1) si es falso no

IF TK1001 <= 0 THEN

TK1001=0;

LCV101=0;

ELSE

TK1001=TK1001;

LCV101=LCV101;

ENDIF;

IF TK1002 >= 95 THEN

LSH1012=1;

TK1002=95;

ELSE

LSH1012=0;

TK1002=TK1002;

ENDIF;

Si nivel de TK 100-2 (tanque 2) es mayor e igual a 95; activara el estado de LSH 101-2 (sensor de nivel alto del tanque TK 100 -2) si es falso no

IF TK1002 <= 10 THEN

TK1002=10;

LSL1012=0;

ELSE

LSL1012=1;

TK1002=TK1002;

ENDIF;

Si nivel de TK 100-2 (tanque 2) es menor e igual a 10, activara el estado de LSL 101-2 (sensor de nivel bajo del tanque TK 100 -2) si es falso no

IF TK1003 <= 0 THEN

TK1003=0;

B100=0;

ELSE

B100=B100;

TK1003=TK1003;

ENDIF;

Si nivel de TK100-3 (tanque surtidor) es menor 0 se apaga B100 (bomba de agua)

IF B100 == 1 THEN

IF LCV101 == 0 THEN

TK1001=TK1001+1;

IF HV101 == 0 THEN

TK1003=TK1003 - 1;

ELSE

TK1003=TK1003;

ENDIF;

ELSE

TK1001=TK1001;

ENDIF;

Si B 100 (bomba de agua) está encendida y LCV 101 (válvula gobernada por el motor DC MC 101) el TK 100-1 (tanque 1) se llenara

ELSE

IF LCV101 == 1 THEN

TK1001=TK1001 - 1;

ENDIF;

IF HV101 == 1 THEN

TK1003=TK1003+1;

ELSE

```

TK1003=TK1003;

ENDIF;

ENDIF;

Si LCV 101 (válvula gobernada por el motor DC MC 101) está abierta y HV101
(valvula manual de TK 100-2) está cerrada entonces TK100-1(tanque 1) se drenara
IF LCV101 == 1 THEN
    IF HV101 == 0 THEN
        TK1002=TK1002+1;
    ELSE
        TK1002=TK1002;
    ENDIF;
ELSE
    IF HV101 == 1 THEN
        TK1002=TK1002 - 1;
    ELSE
        TK1002=TK1002;
    ENDIF;
ENDIF;

ENDIF;

```

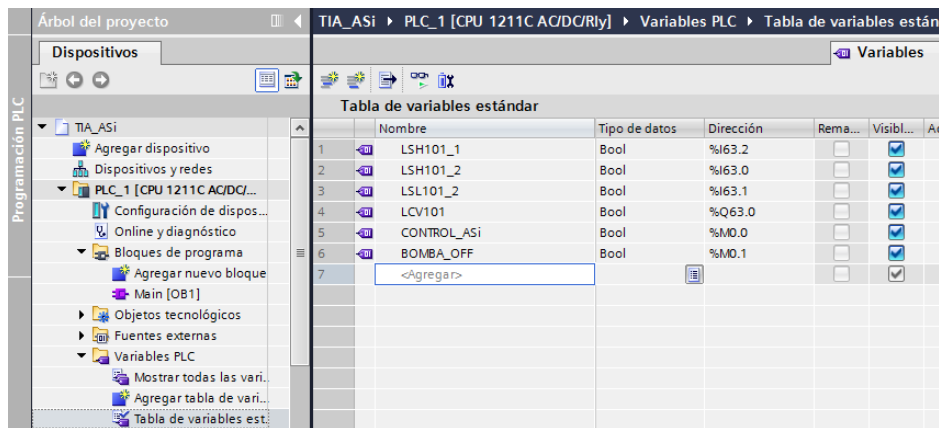
#### 4.12 PROGRAMA DEL CONTROL EN AS-i

Para realizar el control de la planta, se realizó un algoritmo en lenguaje Ladder en el programa propietario de Siemens TIA PORTAL. Se considera que una vez establecido la configuración del Master AS-i así como también del módulo esclavo AS-i, las direcciones asignadas a las E/S del módulo AS-i, son transparentes en el momento de la codificación en el Step7 TIA PORTAL. A continuación se muestra la secuencia de programación para el control AS-i

En la figura 5.12 se muestra como se realiza la declaración de variables y la asignación de direcciones discretas, de acuerdo a las direcciones asignadas en forma automática al módulo AS-i. Después de eso, se procede a la programación.

Los nombres de las etiquetas (Tags) son las mismas que se han considerado en la tabla 5.1 adicionándose únicamente dos variables discretas como son CONTROL\_AS-i

(M0.0) que se utiliza para dar marcha ON al control AS\_i cuando su valor este en “1”, caso contrario, si es “0” el control estará parado en OFF. La otra variable discreta es BOMBA\_OFF (M0.1) cuyo estado nos indicará cuando este en “1” que la válvula LCV 101 deberá abrirse para vaciar el TK 100-1 y llenar el TK 100-2.



Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Ac
1 LSH101_1	Bool	%I63.2		<input checked="" type="checkbox"/>	
2 LSH101_2	Bool	%I63.0		<input checked="" type="checkbox"/>	
3 LSL101_2	Bool	%I63.1		<input checked="" type="checkbox"/>	
4 LCV101	Bool	%Q63.0		<input checked="" type="checkbox"/>	
5 CONTROL_ASi	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	
6 BOMBA_OFF	Bool	%M0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	
7 <Agregar>				<input checked="" type="checkbox"/>	

Fig. 5.12 Declaración de variables y asignación de direcciones

En la figura 5.13 se muestra el código que controla la válvula LCV101 la cual vemos que solo se activará a “1” si se inicia el control colocando CONTROL\_ASi a “1” y si BOMBA\_OFF está a “1”. En la primera línea del segmento 1 vemos que BOMBA\_OFF solo se activará si el nivel alto LSH101\_1 del TK100-1 está en “1” y a la vez se niega el estado del nivel LSH101\_2 el cual debe indicar “0”. Si esta condición se da, entonces BOMBA\_OFF quedara enclavada a “1” hasta que el nivel alto LSH101\_2 se ponga al estado “1” con lo que desenclava BOMBA\_OFF a “0”.

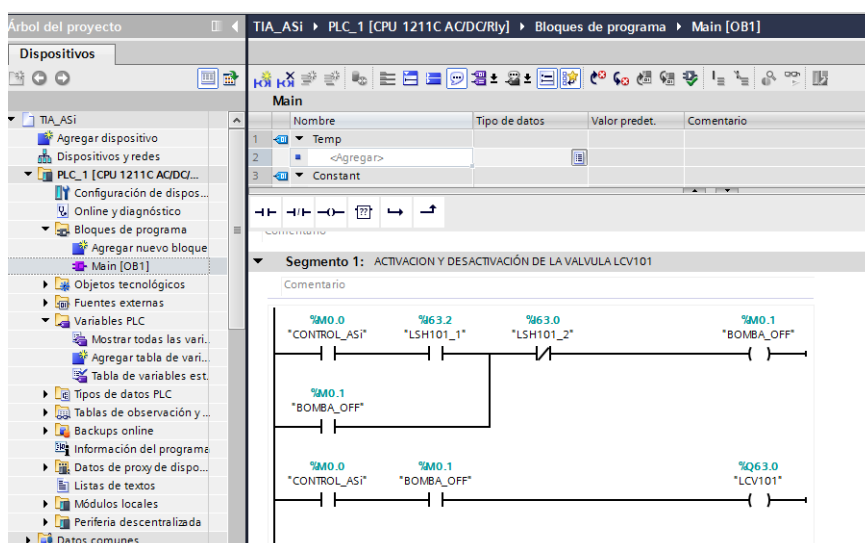


Fig. 5.13 Programa para el control de la válvula LCV 101

## CONCLUSIONES

- Se realizó el estudio de los criterios que diferencian a las redes distribuidas de las redes centralizadas. Se aprendió que una vez realizada la configuración de los dispositivos de campo conectados a un controlador central, las direcciones de E/S son asignadas manual o automáticamente y una vez dado esto, el direccionamiento en la programación del controlador central, se puede trabajar en forma transparente.
- Se realizó el estudio de la red de campo AS-i en la que se pudo conocer que los direccionamientos por cada módulo de la versión V 1.0 se basaban en la lectura/escritura de 4bits, además que estos eran identificados por dos códigos, de función y de operación.
- Se pudo constatar que realizada la configuración del módulo esclavo AS-i, al ser sus direcciones de este, transparente para el controlador, esta información puede ser llevada a un nivel superior para la gestión de las tareas de supervisión.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

1. Automatización Industrial. (1996-2018). Siemens. Recuperado de:  
[http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/com\\_industriales/pag es/comunicaciones\\_industriales.aspx](http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/com_industriales/pag es/comunicaciones_industriales.aspx)
2. Comunicaciones Industriales. En:  
[http://www.infoplcn.net/files/documentacion/comunicaciones/infoplcn\\_net\\_00presentacioncursocomindbabel.pdf](http://www.infoplcn.net/files/documentacion/comunicaciones/infoplcn_net_00presentacioncursocomindbabel.pdf)
3. Medios de transmisión Industrial. En:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n\\_de\\_datos](https://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n_de_datos)
4. Medios de transmisión Industrial. En:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Medio\\_de\\_transmisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Medio_de_transmisi%C3%B3n)
5. Sistemas de transmisión. En:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_transmisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_transmisi%C3%B3n)
6. Bus AS-i. En: <https://es.wikipedia.org/wiki/AS-interface>
7. Orduz T., Ortiz B. Tesis: Protocolo AS-Interface, Analizador de Red. Oct. 2006
8. Aquilino Rodríguez Penin. 2008. Comunicaciones Industriales. Ed. Marcombo. España
9. Guerrero, Yuste y Martínez. 2010. Comunicaciones Industriales. Ed. Marcombo. España
10. Armesto J. 2007. Instalación de Sistemas y Automatización de Datos. España. Recuperado de: <http://www.disa.uvigo.es/>

# ANEXOS



# Anexo 1 Datasheet Sensor Capacitivo CR30-15DP

# Anexo 2: Manual CM 1243 DCM 1271

# Anexo 3: Manual Controlador SIMATIC S7- 1200